

Jarno Lehtonen

# KUORIKATTILAN OMAKÄYTTÖENER- GIAN SELVITTÄMINEN JA KEHITTÄ- MISMAHDOLLISUUDET

Opinnäytetyö

Energiatekniikan insinööri

Joulukuu 2015

<b>Tekijä</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Jarno Lehtonen	Insinööri AMK	Joulukuu 2015
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		80 sivua 14 liitesivua
Kuorikattilan omakäyttöenergian selvittäminen ja kehittämis- mahdollisuudet		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Stora Enso Oyj		
<b>Ohjaaja</b>		
Tutkimusinsinööri Hannu Sarvelainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden voimlaitoksen kuorikattilan omakäyttöenergiaa. Selvitys käsittää höyryverkon painetta säättävän kuorikattilan oma käyttämän sähkön ja höyryn. Sen lisäksi käsitellään paineilmaa käyttävien tuhkalähetysten tehostamismahdollisuutta ja prosessista poistuvaa hukkalämpöä.</p> <p>Tutkimusprosessissa keskitytään merkittävimpiin sähkönkuluttajiin, kuten pumppuihin, puhaltimiin ja kuoren siirtoon tarvittavaan laitteistoon. Höyrynkulutuksessa tutkitaan muun muassa nuohoukseen menevä korkeapainehöyry ja ilman esilämmittimiin menevä matalapainehöyry. Työn alussa annetaan katselmus voimalaitosprosessiin, energiantuotantoon ja kuorikattilaan yleisesti. Työssä perehdytään nykyisten pumppujen sekä puhaltimien säätömenetelmiin ja tutkitaan mahdollinen kustannussäästö säätöjärjestelmän muutoksella. Työn tavoitteena on löytää nykyiseen prosessiin kehittämismahdollisuuksia. Teoriaosiossa esitellään työn kannalta tärkeät kohteet.</p> <p>Tarvittavaa teoriaa lähdettiin tutkimaan alan kirjallisuuteen perehtyen keskittyen erityisesti voimalaitos- ja sähkötekniikkaan. Prosessitietojen keruussa käytettiin Metso DNA -automaatiojärjestelmää ja ABB:n Vtrin -käyttöliittymää. Lisäksi hyödynnettiin Promas-tietojärjestelmän raportteja. Työtä tehdessä täytyi joitakin mittauksia suorittaa lisäksi myös kentällä.</p> <p>Lopputuloksena voidaan todeta, että kuorikattilalta löytyy tehostamispotentiaalia energiankäytössä. Energiatehokkuutta on mahdollista kehittää tehostamalla nuohointen toimintaa uudella ohjelmalla, optimoimalla tuhkalähetysä, höyryluvon asetusarvon muutoksella ja hyödyntämällä taajuusmuuttajasäätöä. Tämän tutkimuksen avulla saadaan suuntaa-antavia tietoja nykyiseen prosessiin käytetystä omakäyttöenergiasta ja sen kehittämismahdollisuuksista.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
omakäyttöenergia, energiatehokkuus, kuorikattila, höyry, sähkö		

Author	Degree	Time
Jarno Lehtonen	Bachelor of Engineering	December 2015
<b>Thesis Title</b>		80 pages
Boiler's Own Energy Consumption and Its Improvement Opportunities		14 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Stora Enso Oyj		
<b>Supervisor</b>		
Hannu Sarvelainen, Research Engineer		
<b>Abstract</b>		
<p>The purpose of this thesis, commissioned by Stora Enso's Imatra Mill power plant, was to examine own energy consumption of a bubbling fluidized bed boiler. The primary focus was on power consumption, steam consumption, compressed air and lost heat. Large production plants often have a considerable potential for energy savings, and the purpose of this thesis was to identify this potential in the process.</p> <p>This thesis examines the power consumption of pumps, fans and the fuel transferring system. In addition, steam consumption of sooth blowing and air preheaters is examined. At the beginning, the thesis discusses power plant processes and the operation of a fluidized bed boiler in practice. After this, it examines the present system and utilizes data from Metso DNA automation system, Promas system and ABB user interface Vtrin.</p> <p>The results of this thesis indicate that the present system of the bubbling fluidized bed boiler is efficient. However, some energy saving potential was found that could help raise efficiency. Steam can be saved with changing the air preheater operation mode from local to remote mode control. The sooth blowing system can be improved by replacing the present system with a smart cleaning system. That allows steam saving and lower maintenance costs. In the present system, the pumps have hydraulic variable speed drives, axial fans have variable pitch control and one centrifugal fan has guide vane control. These devices could be controlled by a frequency converter, resulting in energy savings.</p>		
<b>Keywords</b>		
own consumption, energy efficiency, boiler, steam, electricity		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VOIMALAITOKSEN JA KUORIKATTILAN TOIMINTAPERIAATE.....	7
2.1	Energiantuotanto .....	8
2.2	Kuorikattila KK2 .....	10
2.3	Omakäyttöhöyry.....	11
2.3.1	Höyryluvot .....	12
2.3.2	Nuohous.....	13
2.3.3	Syöttövesisäiliö ja lämmöntalteenotto .....	15
2.3.4	Syöttöveden korkeapaine-esilämmitin.....	16
2.4	Jatkuva ulospuhallus .....	16
2.5	Omakäyttösähkö.....	18
2.6	Sähkökäytöt.....	19
2.7	Kuorensiirtolaitteet .....	27
2.8	Tuhkalähetysten paineilman kulutus.....	29
2.9	Pumput .....	31
2.10	Pumppujen säädöt.....	32
2.11	Syöttövesipumput .....	34
2.12	Ruiskutusvesipumput.....	36
2.13	Puhaltimet.....	37
2.14	Puhaltimien säädöt .....	38
2.15	Leijuilmapuhallin .....	39
2.16	Sekundääri-ilmapuhallin .....	41
2.17	Savukaasupuhaltimet .....	42
3	KOhteiden Tutkimukset.....	44
3.1	Matalapainehöyryn omakäyttö .....	44
3.2	Korkeapainehöyryn omakäyttö .....	49
3.3	Jatkuva ulospuhallus .....	51
3.4	Lämmöntalteenotto ja syöttövesisäiliö .....	54
3.5	Tuhkalähetykset.....	56

3.6	Sähkönkulutus .....	60
3.6.1	Syöttövesipumppu.....	62
3.6.2	Ruiskutusvesipumppu .....	63
3.6.3	Leijuilmapuhallin.....	64
3.6.4	Sekundääri-ilmapuhallin .....	66
3.6.5	Savukaasupuhaltimet.....	67
3.6.6	Kuorensiirtolaitteisto .....	69
3.7	Yhteenveto sähkön käytöstä.....	69
3.8	Taajuusmuuttajan hyödyntäminen .....	70
4	KEINOT OMAKÄYTTÖENERGIAN PARANTAMISEKSI.....	74
5	YHTEENVETO .....	77
	LÄHTEET.....	78
	LIITTEET	

Liite 1. ABB tehokerrointaulukko

Liite 2. Laskennassa käytetyt arvot

Liite 3. Kuormitusten jakautuminen

Liite 4. Siemens-moottorin tiedot

Liite 5. Kuorensiirtolaitteiston vuosikulutuksen laskenta

Liite 6. Tarkastusmittaukset kohteille

Liite 7. Vacon Save -ohjelma, leijuilmapuhallin

Liite 8. ABB PumpSave syöttövesipumppu

Liite 9. ABB PumpSave ruiskutusvesipumppu

## 1 JOHDANTO

Nykyisin energiankäyttöön pyritään kiinnittämään aikaista enemmän huomiota. Tässä opinnäytetyössä keskitytään Stora Enson Imatran tehtaiden voimalaitoksen kuorikattilan omakäyttöenergian nykytilan kartoittamiseen ja vähentämismahdollisuuksien selvittämiseen. Suurissa teollisuuslaitoksissa omakäyttöenergian tehostaminen voi tuoda suuriakin säästöjä ja parantaa näin kannattavuutta. Teollisuuslaitoksilla ei välttämättä ole tarkkaa kuvaa kaikilta osin prosessin oma käyttämän energian määrästä. Tähän voi vaikuttaa muun muassa mittauksien puutteellisuus, joilla voitaisiin arvioida energian tehokasta käyttöä.

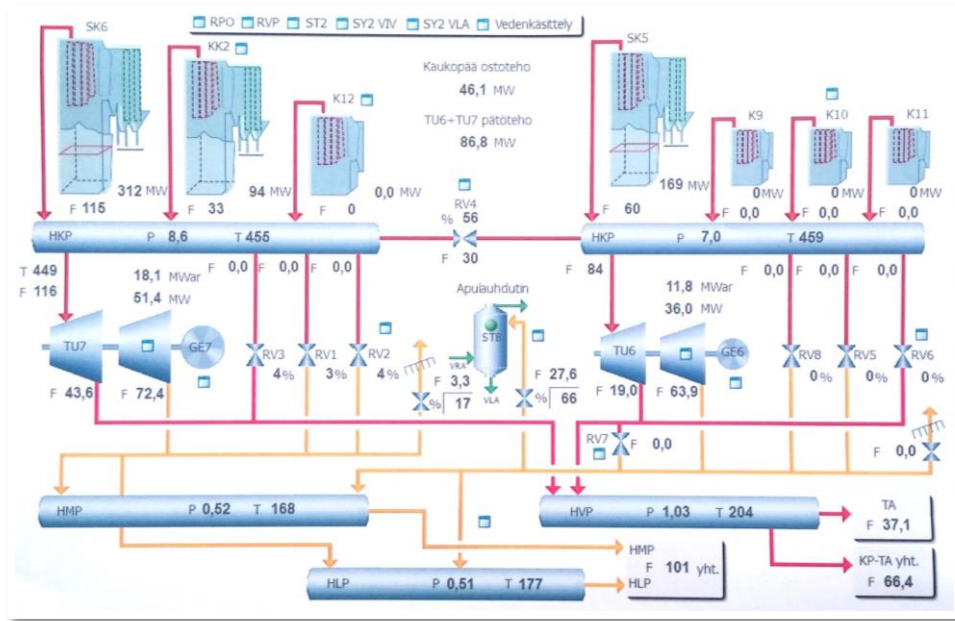
Työssä käydään läpi voimalaitoksen kuorikattilan suuret kulutuskohteet ja pyritään selvittämään ratkaisuja toiminnan tehostamiseksi. Työssä käsitellään kuorikattilan merkittävimmät sähkönkulutuskohteet, kuten puhaltimet, pumput, kuorensiirtolaitteet sekä paineilman ja omakäyttöhöyryn kulutus. Kuorikattilan tämän hetkinen sähkön- ja höyrynkulutus selvitetään mahdollisuuksien mukaan. Myös hukkalämmön talteenoton tehokkuutta tutkitaan tarvittavilla mittauksilla. Nykyaikaisten ratkaisujen avulla voidaan tuoda toivottuja säästöjä vanhoihin järjestelmiin verraten.

Metsäteollisuusyrityksen Stora Enso Oyj:n palveluksessa työskentelee noin 27 000 henkilöä yli 35 maassa. Suomessa on toimintaa useilla paikkakunnilla kuten Imatralla, Kouvolassa, Heinolassa, Kemissä, Oulussa ja Varkaudessa. Pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Vuonna 2014 konsernin liikevaihto oli 10,2 miljardia euroa. Yritys keskittyy kuitupohjaisiin pakkaustuotteisiin, puuviljelmiltä saatavaan selluun, kestäviin rakennusratkaisuihin ja biomateriaalin innovaatioihin. (Stora Enso Oyj. 2015a.)

Stora Enson tehtaista Imatran tehtaalla on suurin nestepakkauskartongin valmistaja maailmassa. Kaukopäästä ja Tainionkoskesta muodostuvat tehdasyksiköt työllistävät noin 1000 henkeä. Imatran tehtailla on neljä kartonkikonetta ja yksi paperikone. Yli miljoona tonnia kartonkia ja paperia vuodessa valmistavan Imatran tehtaiden tuotannosta 90 % menee vientiin. Päämarkkina-alueet ovat Euroopassa ja Kaakkois-Aasiassa. Kartonkia käytetään mm. maito- ja mehutölkkeihin, juomakuppeihin, elintarvike-, makeis- ja savukepakkauksiin. (Stora Enso Oyj. 2015b.)

## 2 VOIMALAITOKSEN JA KUORIKATTILAN TOIMINTAPERIAATE

Voimalaitoksella vastataan höyryn tuottamisesta Kaukopään ja Tainionkosken tehtaiden tarpeisiin. Korkeapaineista höyryä tuotetaan soodakattiloilla SK6 ja SK5, kuorikattilalla KK2 ja neljällä maakaasukattilalla K9-K12. Kuvassa 1 on esitetty Imatran tehtaiden voimalaitoksen yksinkertaistettu höyryverkon prosessikaavio. Höyryverkon kaaviosta selviää kattiloiden teho- ja painetaso voimalaitosprosessissa.



Kuva 1. Voimalaitoksen höyryverkko (Stora Enso Oyj 2015c)

Soodakattila 6, kuorikattila KK2 ja kaasukattilalla K12 tuotettu korkeapaineinen höyry (HKP) ajetaan 8,4 MPa:n tukkiin. Vastaavasti soodakattila 5 ja kaasukattiloilla K9-11 tuotettu höyry ajetaan matalapaineisempaan 7,0 MPa:n tukkiin. Tämän lisäksi 8,4 MPa:n tukilta ajetaan höyryä reduktioventtiili RV4 kautta 7,0 MPa:n tukille.

Korkeapainetukeilta höyry johdetaan vastapaineturbiineille TU6 ja TU7, jossa höyryn energiaa muunnetaan sähköksi. TU7:lle tuleva korkeapainehöyry ajetaan 8,4 MPa:n tukilta. TU6:lle korkeapainehöyry ajetaan matalapaineisemmän 7,0 MPa:n tukin kautta. Turbiinien jälkeen höyryn paine on laskenut vaadittavalle tasolle. Turbiinien jälkeen höyryä jäähdytetään vielä vedellä, jotta vaadittu lämpötila saavutetaan. Turbiineilta höyry ajetaan väli- (HVP 1,0 MPa) ja matalapainetukille (HMP 0,5 MPa). Väli- ja matalapainetukeilta höyry johde-

taan tehtaan prosessien vaatimiin kohteisiin. Lisäksi prosessissa on vielä erillinen HLP – tukki (0,5MPa), joka on tarkoitettu laitoksen lämmityskäyttöön.

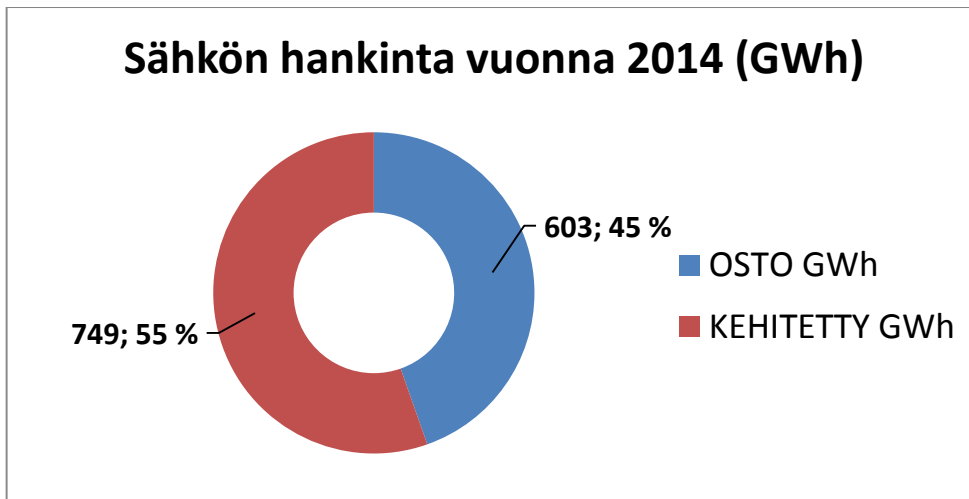
Turbiinien ohitus- tai häiriötilanteissa, kuten pikasulussa varmistetaan prosessihöyryntuotanto reduktioventtiileillä. Höyrymuuntoventtiileillä eli reduktioventtiileillä voidaan turbiinien ohi ajaa höyry suoraan vastapaineverkkoon. Reduktioventtiilillä alennetaan paine ja lämpötila vaaditulle tasolle. Lämpötilan laskemiseen käytetään jäähdytysvettä. Korkeapaineista höyryä muunnetaan matalapaineiseksi (HMP 0,5 MPa) reduktioventtiileillä RV1, RV2, RV5 ja RV8. Alennettaessa korkeapaineesta välipaineeksi (HVP 1,0 MPa) käytetään reduktioventtiilejä RV3 ja RV6. Reduktioventtiilillä RV7 voidaan säätää HMP- tai HVP -höyryverkon painetta. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Apulauhdutinta käytetään höyryverkossa tasaamaan matalapaine- tai korkeapainehöyryyn kulutuksessa muodostuvia vaihteluja. Näin höyryverkon paine voidaan pitää eri kuormitustilanteissa vakiona ilman että höyryä tarvitsee puhalttaa ulos. Apulauhduttimeen tuleva höyry lauhdutetaan raakavedellä, jossa muodostunut lauhde ajetaan lauhdesäiliöön. Syntynyt lämmin raakavesi voidaan tarpeen mukaan ajaa lämminvesisäiliöön tehtaan prosessien käyttöön tai jos tarvetta ei ole niin Saimaaseen. Ajettaessa raakavettä lämminvesisäiliöön apulauhdutin ei toimi enää verkon tasaajana vaan on yksi kuluttajista. Apulauhduttimella voidaan tehdä sähköä raakavedenlämpötilasta riippuen 10 - 14 MW. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

## 2.1 Energiantuotanto

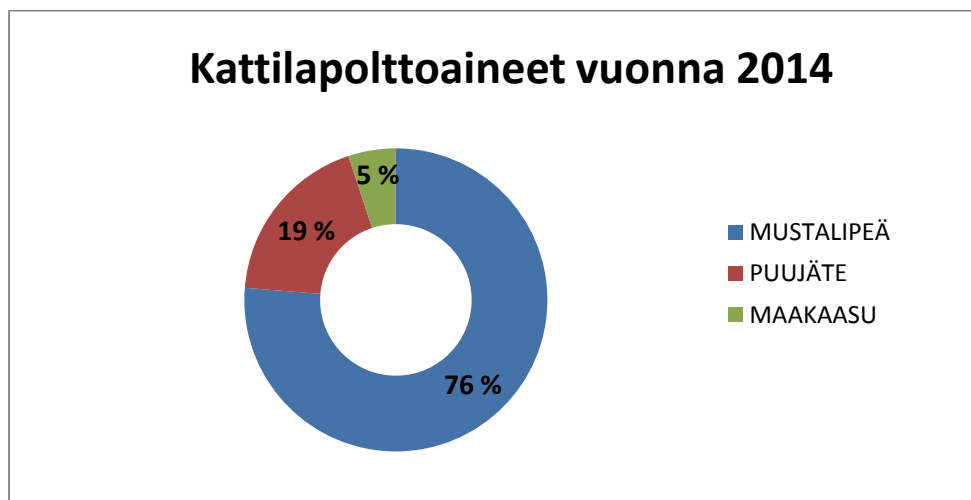
Voimalaitoksella sähköä tuotetaan tehtaan tarpeisiin kahdella vastapaineturbiinilla turbiini 6 (TU6) ja turbiini 7 (TU7). TU7 muodostuu Man Energien toimittamasta väliottovastapaineturbiinista ja GEC Alsthom valmistamasta generaattorista. TU6 on AEG-Kaniksen valmistama vastapaineturbiini. Turbiinilla 6 pystytään kehittämään maksimissaan 64 MW:n teho ja turbiini 7:lla 91,4 MW:n teho. (Stora Enso Oyj. 2015d.)





Kuva 2. Sähkön hankinta vuonna 2014. (Stora Enso Oyj. 2015e)

Kuvassa 2 on esitetty Imatran tehtaiden kehitetty sähkö ja ostettavan sähkön kokonaismäärä. Imatran tehtaiden sähkönkulutus yhteensä vuonna 2014 oli 1352 GWh. Kyseisenä vuonna sähköä tuotettiin 749 GWh, mikä vastaa noin 55 % kokonaissähköstä. Vastaavasti ostosähköä hankittiin 603 GWh vastaten noin 45 % kokonaissähköstä. Laskuissa sähkön hintana käytetään 40 e / MWh.



Kuva 3. Polttoaineet ja höyryn kehitys 2014 (Stora Enso Oyj. 2015e)

Kuvassa 3 on esitetty käytetyt pääasialliset kattilapolttoaineet höyryn tuottamiseen vuonna 2014. Biopolttoaineiden osuus energiantuotannossa on noin 95 %. Soodakattilat SK6, SK5 ja kuorikattila KK2 vastaavat pääsääntöisesti tuotetun höyryn määrästä. Apuna höyryntuotannossa korkean kulutuksen aikana toimivat K9-K12 maakaasukattilat.

## 2.2 Kuorikattila KK2

Imatran tehtaiden voimalaitoksen kuorikattila (josta käytän jatkossa termiä KK2) on Tampella Oy:n vuonna 1992 valmistama leijupetikattila. KK2:n polttoaineena käytetään kuorikentältä tulevaa kuorta, lietettä ja puujätettä. Polttoaine kuljetetaan hihnoja pitkin kahteen siiloon, joista se annostellaan kahta kuljetinlinjaa pitkin kattilaan tehon tarpeen mukaan. Käynnistys- ja varapolttoaineina käytetään raskasta polttoöljyä ja maakaasua. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

KK2:n tehtävänä on toimia yhdessä apuna toimivan kaasukattilan K12:n kanssa säättävänä kattilana tehtaan verkossa. Kesäaikana normaalissa ajotilanteessa pystytään vastaamaan verkoston paineen säädöstä usein pelkästään KK2:n tuottamalla höyryllä. Höyryntuotannossa pyritään aina ensisijaisesti käyttämään biopolttoaineita. Höyryn tarpeen kasvaessa suuremmaksi tai muiden kattiloiden häiriötilanteissa, tarvitaan höyryntuottamiseen lisäksi maakaasulla toimivia apukattiloita (K9-12).

KK2 on ylhäältä kannatettu luonnonkiertokattila. Tulipesän pohjalle on sijoitettu leijuarina leijukerros polttoa varten. Leijukerros polttotekniikka soveltuu hyvin lämpöarvoltaan huonojen ja märkien polttoaineiden polttoon. Leijukerros on kuplivaa tyyppiä eli hiekkakerros pysyy matalana eikä lähde kiertoon. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Kattilaan tulevaa ilmaa ja syöttövettä lämmitetään savukaasukanavissa sijaitsevissa esilämmittimissä. Tulevaa ilmaa lämmitetään tämän lisäksi myös höyryllä. Kattilassa muodostuvaa lentotuhkaa kerätään talteen savukaasukanavan eri kohdissa tuhkasuppiloihin. Suppiloista tuhka lähetetään tuhkasiiloon pneumaattisesti. Kattila on lisäksi varustettu kahdella sähkösuotimella. Sähkösuodattimiin kulkeutunut lentotuhka putoaa myös tuhkasuppiloihin, joista tuhka kuljetetaan edelleen pneumaattisesti tuhkasiiloon. Kattila on myös varustettu pohjalta tulevan karkeamman aineen poistoon pohjatuhkaruuveilla ja pohjatuhkakuljettimella. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Taulukossa 1 on esitetty KK2:sen päämitoitussarvot höyryntuotannossa.

Taulukko 1. KK2:n päämitoitussarvot (Stora Enso Oyj. 2015d)

<b>KK2:n päämitoitussarvot</b>	
Maksimi höyryntuotto leijupoltolla [kg/s]	79,4
Maksimi höyryntuotto kaasulla/öljyllä [kg/s]	64
Höyryn paine [MPa]	8,4
Nettolämpöteho leijupoltolla [MW]	235
Leijupolttoheho (polttoaineteheho) [MW]	267

Vuonna 2014 kuorikattilan hyötysuhde polttoaineena käytetyllä puujätteellä oli 84,6 % ja maakaasulla 91 %. Hyötysuhde kokonaisuudessaan oli 84,8 %. Höyryä tuotettiin puujätteellä 3 454 TJ. Maakaasulla tuotettiin höyryä 130,6 TJ. Yhteensä höyryä tuotettiin kuorikattilalla noin 3 585 TJ. (Stora Enso Oyj. 2015e.)

### 2.3 Omakäyttöhöyry

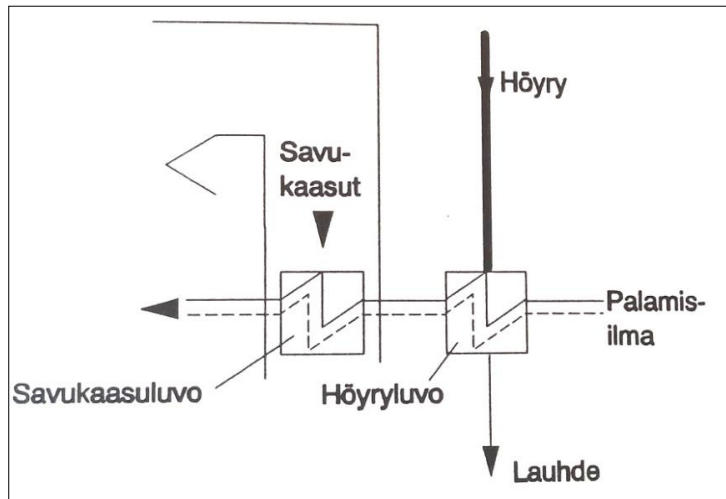
Höyryn suosio lämmitysaineena perustuu höyryn kykyyn sitoa lämpöenergiaa. Lauhtuessaan höyrystä vedeksi höyry luovuttaa lauhtuvaa höyrykiloa kohden suuren määrän lämpöä. Lisäksi suuri määrä lämpötehoa voidaan siirtää höyryllä ilman, että tarvitaan isoja putkikokoja. Pääprosessin aputoimintoihin tarkoitettua höyryä kutsutaan omakäyttöhöyryksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 43, 80.)

KK2:lla höyryä kulutetaan useissa eri kohteissa. Omakäyttöhöyryn kulutuskohteita ovat muun muassa nuohous, palamisilman esilämmitys (höyryluvot), syöttövesisäiliö (lämmitys ja kaasunpoisto), syöttöveden korkeapaine-esilämmitin (öljypolton yhteydessä) sekä rakennuksen lämmitys.

KK2:n rakennus lämmitetään glykolikierrolla, johon lämpö otetaan soodakattiloiden (SK5 ja SK6) savukaasupesureiden kuumasta vedestä (VKU) lämmönvaihtimen avulla. Tarvittaessa lämmitykseen käytetään apuna myös matalapainehöyryä, mikäli lämmöntuotto ei ole riittävä. Lämmityshöyryä ei oteta tarkasteluun tässä työssä, koska suurimmaksi osaksi rakennusta lämmitetään kuuman veden lämmöllä.

### 2.3.1 Höyryluvot

Höyryluvojen tarkoitus on lämmittää palamisilmaa ennen savukaasuesilämmitimiä. Näin nostetaan savukaasujen loppulämpötilaa, kun savukaasuilla tapahtuva ilmanlämmityksen tarve vähenee. Palamisilmaa täytyy esilämmittää höyryllä, jos riskinä on savukaasujen lämpötilan lasku alle happokastepisteen. Pienillä kattilakuormilla ajettaessa lämpötilaerot ainevirtojen välillä laskevat siirrettäessä samoilla lämmönsiirtimillä pienempiä tehoja. Tässä kohdassa kastepisteen alittuminen on mahdollista ja tältä voidaan välttyä kun käytetään höyryluvoa. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 201.) Kuvassa 4 on esitetty kuinka höyryluvo kytketään prosessiin palamisilman lämmittämistä varten.



Kuva 4. Höyryluvon kytkentä prosessissa (Huhtinen ym. 2000, 201)

KK2:lla omakäyttöhöyryä käytetään kattilaan tulevan leijutus- ja sekundääri-ilman lämmittämiseen. Höyry tähän otetaan matalapaineverkosta (HMP 0,5 MPa). KK2:lle tuleva palamisilma otetaan kattilahuoneen yläosasta yhteisestä imukanavasta leijuilma- ja sekundääri-ilmapuhaltimelle. Kattilahuoneen yläosasta otettavalla ilmalla pystytään hyödyntämään osa hukkalämmöstä palamisilmaan. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Höyryluvoihin menevä lämpöteho voidaan laskea kaavalla 1.

$$\Phi = q_{m1} \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

jossa	$\Phi$	höyryyn sitoutuva lämpöteho	[kW]
	$q_{m1}$	höyryn massavirta	[kg/s]
	$h_2$	matalapainehöyryn entalpia	[kJ/kg]
	$h_1$	poistuvan lauhteen entalpia	[kJ/kg]

Leijuilmanpuhaltimen imupuolella olevaa höyryluvoa käytetään lähinnä pienellä kuormalla ajettaessa tai jos polttoaineena käytetty kuori ja liete on erittäin märkää. Höyryluvoa hyödynnetään myös, jos savukaasumäärä savukaasuluvoille pienenee aiheuttaen tulevan ilman kylmenemisen. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Sekundääri-ilmapuhaltimen jälkeen olevalla toisella höyryluvolla estetään savukaasuluvojen rikkikorroosiota. Kyseinen höyrypatteri pidetään aina toiminnassa. Taulukossa 2 on esitetty KK2:n sekundääri - ja leijuilman lämmittämiseen tarkoitettujen höyryluvojen teknisiä tietoja. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Taulukko 2. KK2:n höyryluvojen tekniset tiedot (Stora Enso Oyj. 2015d)

<b>Arvot:</b>	<b>Sekundääri</b>	<b>Primääri</b>
Ilmavirta sisään [Nm <sup>3</sup> /s]	54,6	37,5
Ilman lämpötila sisään [°C]	30	30
Ilman lämpötila ulos [°C]	100	80
Höyrymäärä [kg/s]	2,33	1,16
Höyryn mitoituspaine/lämpötila [MPa]/ [°C]	0,5/165	0,5/165
Teho [kW]	4950	2430

### 2.3.2 Nuohous

Nuohouksen tehtävä on pitää ajon aikana KK2:n tulistinalueen ja esilämmittimien lämpöpinnat puhtaina. Kattilan nuohoimet on aseteltu likaantumisherkille alueille. Epäpuhtaudet estävät lämmön siirtymisen savukaasuista lämmönsiirtopinnoille heikentäen näin kattilan hyötysuhdetta. Kattilan likaantuessa myös

savukaasujen virtausvastus kasvaa lisäten omakäyttötehoa. (Huhtinen ym. 2000, 214.)

Lämpöpintojen puhdistukseen on käytössä erilaisia nuohointityyppejä, kuten puhallusnuohoimet, vesipesulaitteet, kuulanuohouslaitteet, mekaaniset ravis-  
tuslaitteet ja ääninuohoimet. Tämän lisäksi puhallustyyppiset nuohoimet ja-  
otellaan vielä:

- ulosvedettäviin nuohoiimiin
- seinänuohoiimiin
- pyöriviin monisuutinnuohoiimiin
- haravanuohoiimiin
- pyörivien ilmanesilämmittimien nuohoiimiin. (Huhtinen ym. 2000, 214.)

KK2 nuohoukseen käytetään kokonaan tai osittain ulosvedettäviä nuohoimia sekä monisuutinnuohoimia. Lisäksi on kaksi paineilmatoimista ääninuohointa, mitkä toimivat oman ohjauksen mukaan. Nuohousjärjestelmä on rakennettu niin, että se vesittää itsensä ulospuhallussäiliöön. Näin vältetään se, että put-  
kistoon muodostuva lauhde ei päädy nuohoimeen. (Stora Enso Oyj. 2015d)

KK2:n nuohoukseen tarvittava höyry otetaan primääritulistimen jälkeen, jolloin höyryn paine on noin 8.6 MPa ja lämpötila noin 430°C. Höyry ajetaan painee-  
nalennusventtiiliin kautta nuohoimelle, tällöin paine on pudonnut asetusarvoi-  
sesti noin 2,5 MPa. Nuohoushöyryn lämpötila on noin 100°C astetta korkeam-  
pi kuin vastaavan kylläisen höyryn lämpötila (Huhtinen ym. 2000, 216). KK2:n  
nuohoimen ottama höyry yhdessä nuohoimessa on maksimissaan 2,5 kg/s.  
(Stora Enso Oyj. 2015d) Tuotettuun höyryyn sitoutuva lämpöteho lasketaan  
kaavalla 1.

jossa	$\Phi$	höyryyn sitoutuva lämpöteho	[kW]
	$q_{m1}$	höyryn massavirta	[kg/s]
	$h_2$	nuohoushöyryn entalpia	[kJ/kg]
	$h_1$	syöttöveden entalpia	[kJ/kg]

### 2.3.3 Syöttövesisäiliö ja lämmöntalteenotto

KK2 syöttövesisäiliön (SVS5) tarkoitus on säilöä ja lämmittää kulutuskohteiden tarvitsema syöttövesi. Syöttövesisäiliössä tehdään myös terminen jäännöshapenpoisto ja Boilex -hapensitomiskemikaalin lisääminen. Syöttöveden lämmittämiseen käytetään matalapainehöyryä (0,5 Mpa) ja CTMP (Chemical Thermomechanical pulp) prosessissa syntynyttä höyryä. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Syöttövesisäiliöön tuleva lisävesi pumpataan lauhde- ja lisävesisäiliöltä kahdella erillisellä linjalla. Tulevan lisäveden määrää säädellään pinnansäätöventtiilillä. Toisessa lisävesilinjassa on lisäksi kaksi lämmönvaihdinta, jotka ottavat hukkalämpöä talteen kaasunpoistosta ja jatkuvasta ulospuhalluksesta.

KK2:n syöttövesisäiliöstä vesi pumpataan syöttövesipumpulla veden esilämmittimien kautta lieriöön. Syöttövesisäiliöstä vetensä ottavat myös kaasukattila K12 sekä ruiskutusvesipumput. Syöttövesisäiliö on tilavuudeltaan 330 m<sup>3</sup> ja riittää täydellä teholla ajettaessa noin 40 minuutiksi molemmille kattiloille. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Syöttövesisäiliön kaasunpoistimen tarkoitus on poistaa höyryn avulla lisäveteen liuenneita kaasuja, kuten happea. Säiliöön tuleva höyry kulkeutuu syöttövesisäiliön päällä olevaan kaasunpoistimeen alapuolelta ja yläosaan tuleva lisävesi suihkutetaan suuttimilla nousevaa höyryvirtaa vastaan. Veden ollessa kiehumispisteessä on kaasujen liukeneminen arvossa nolla.

Kaasunpoisto on tehokkaimmillaan, kun vesi saavuttaa nopeasti kiehumispisteensä ja vesipisarat ovat mahdollisimman pieniä sekä tasaisesti hajautuneita. Tällöin veden sisältämä happi poistuu tehokkaasti yhdessä pienen höyrymäärän kanssa hönkälauhduttimeen. (Huhtinen ym. 2008, 33.)

Höngän sisältämää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää tulevaan lisäveteen kun hönkä ajetaan hönkälauhduttimen kautta. Taulukossa 3 on esitetty hönkälauhduttimen tiedot.

Taulukko 3. Hönkälauhduttimen tiedot

## Hönkälauhdutin

Teho [MW]	2,23
Suurin sallittu käyttöpaine [MPa]	1,0
Korkein sallittu lämpötila [°C]	250
Tilavuus vaippa/putki [m <sup>3</sup> ]	0,14/1,15

Syöttövesisäiliöön tulevaan lisävedeen siirretään lämpöä sekä liejijäähdyttimeltä että hönkälauhduttimelta. Lämpöteho voidaan laskea kaavalla 2.

$$\Phi = q_{m1} \cdot c_t \cdot \Delta t \quad (2)$$

jossa	$\Phi$	lämmönvaihtimen teho	[kW]
	$q_{m1}$	lisäveden virtaus	[kg/s]
	$c_t$	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	$\Delta t$	veden lämpötilan muutos	[°C]

#### 2.3.4 Syöttöveden korkeapaine-esilämmitin

Omakäyttöhöyryä voidaan myös käyttää syöttöveden esilämmittämiseen ennen savukaasuilla tapahtuvaa lämmitystä (ekonomaiseri). Ahlströmin toimitama pystymallinen korkeapaine-esilämmitin käytetään vain öljypolton yhteydessä korroosiovaaran ehkäisemiseksi. Syöttövettä voidaan esilämmittimellä lämmittää aina 135...145 asteeseen. Esilämmitin käyttää lämmittämiseen matalapainehöyryä (0,5 MPa) ja on teholtaan noin 10 MW. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Korkeapaine-esilämmitin ei ole kuitenkaan ollut käytössä, koska kuorikattilalla ei ole suoritettu öljypolttoa moniin vuosiin. Korkeapaine-esilämmitintä ei oteta tarkastelussa huomioon.

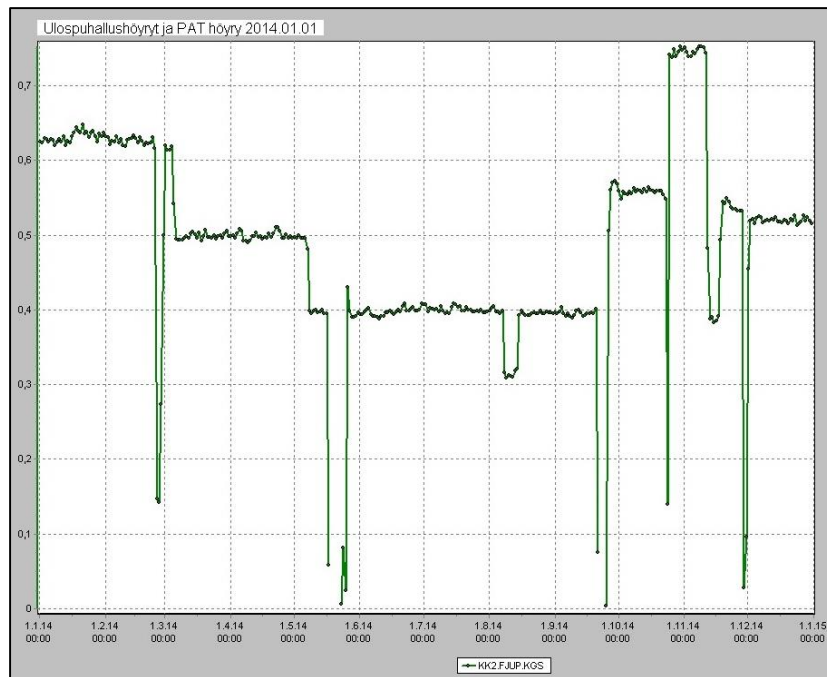
#### 2.4 Jatkuva ulospuhallus

Kattilan vesikiertoon kulkeutuu syöttöveden mukana muun muassa haihtumattomia suoloja. Rikastuessaan vesikiertoon epäpuhtaudet heikentävät kattilaveden laatua. Tämän takia lieriön vesipinnan yläosasta poistetaan jatkuvasti kattilaveteen kertyneitä haitallisia suoloja jatkuvan ulospuhalluksen (Jup) avulla paisuntasäiliöön. Normaalisti ulospuhallettava määrä on 1 - 2 % höyryntuotosta. Näin toimimalla estetään veden tarpeeton kuuhunta lieriössä ja suo-



lojen kertyminen tulistimiin. Paisuntasäiliössä kattilaveden paine laskee, jolloin vesi höyrystyy osittain. Tämä puhdas höyry ohjataan usein syöttövesisäiliöön, jolloin hyödynnetään sekä lämpöä että osa vedestä. Jatkuvan ulospuhallussäiliön pohjalta vesi ajetaan kanaaliin. (Huhtinen ym. 2008, 40)

Poiston määrää säädetään siihen erikseen suunnitellulla säätöventtiilillä. Venttiili on rakennettu kestäämään kovan paineen ja jatkuvan virtauksen aiheuttamaa kulutusta. (Huhtinen ym. 2000, 235.)



Kuva 5. Kuorikattilan ulospuhalluksen määrä vuonna 2014 (Stora Enso Oyj. 2015f)

KK2:n jatkuvan ulospuhalluksen paisuntasäiliön tilavuus on  $5,5 \text{ m}^3$ . Suunnittelulämpötila on  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  ja normaali käyttöpaine  $0,043 \text{ MPa}$ . Jatkuvasta ulospuhalluksen pohjalta tulevasta kattilavedestä talteenotetaan lämpöä lisäveteen liejujäähdyttimen avulla. Jup -säiliön yläpuolelta puhdas höyry ohjataan suoraan syöttövesisäiliöön. Liejujäähdyttimen tiedot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Liejujäähdyttimen tiedot

#### Liejujäähdytin

Teho [MW]	1,17
Suurin sallittu käyttöpaine [MPa]	1,0
Korkein sallittu lämpötila [ $^\circ\text{C}$ ]	250
Tilavuus vaippa/putki [ $\text{m}^3$ ]	0,14/1,15

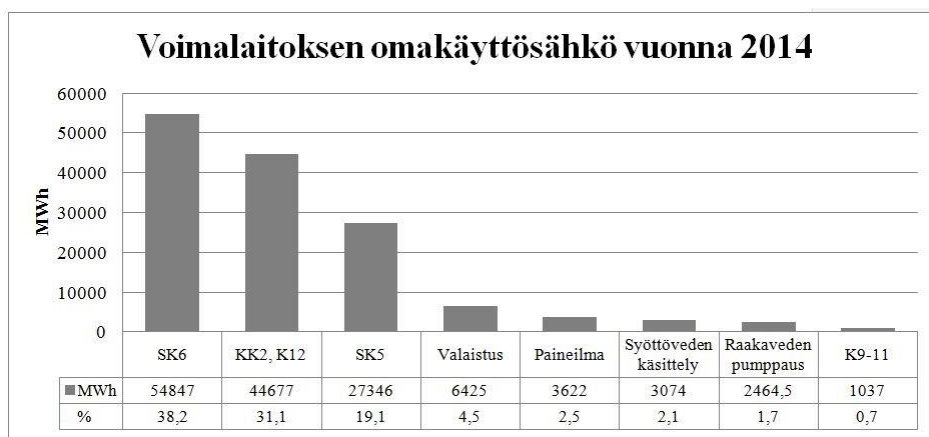
Kuvassa 5 on esitetty kuorikattilan jatkuvan ulospuhalluksen määrän vaihtelut vuonna 2014. Keskimäärin KK2:lla ulospuhallukseen ajettiin 0,48 kg/s. Jatkuvaan ulospuhallukseen menevän ulospuhallusveden lämpöteho määrittää kaavalla (1)

jossa	$\Phi$	ulospuhallusveden lämpöteho	[kW]
	$q_{m1}$	ulospuhalluksen määrä	[kg/s]
	$h_2$	ulospuhalluksen entalpia	[kJ/kg]
	$h_1$	syöttöveden entalpia	[kJ/kg]

## 2.5 Omakäyttösähkö

Merkittävää osaa sähkön kulutuksessa näyttelee voimalaitoksen omakäyttösähkö. Suurimpia omakäyttösähkön kulutuskohteita KK2:lla ovat esimerkiksi syöttövesipumput, puhaltimet ja polttoaineen kuljettimet. Myös paineilman jatkuva käyttö muun muassa tuhkalahetyksissä KK2:lla lisää sähkönkulutusta huomioitavasti.

Voimalaitoksen omakäyttösähkön kokonaiskulutus vuonna 2014 oli yhteensä noin 143,49 GWh. Selvitysvaiheessa tutkitaan yksityiskohtaisemmin KK2 omakäyttösähkön kulutuskohteita.



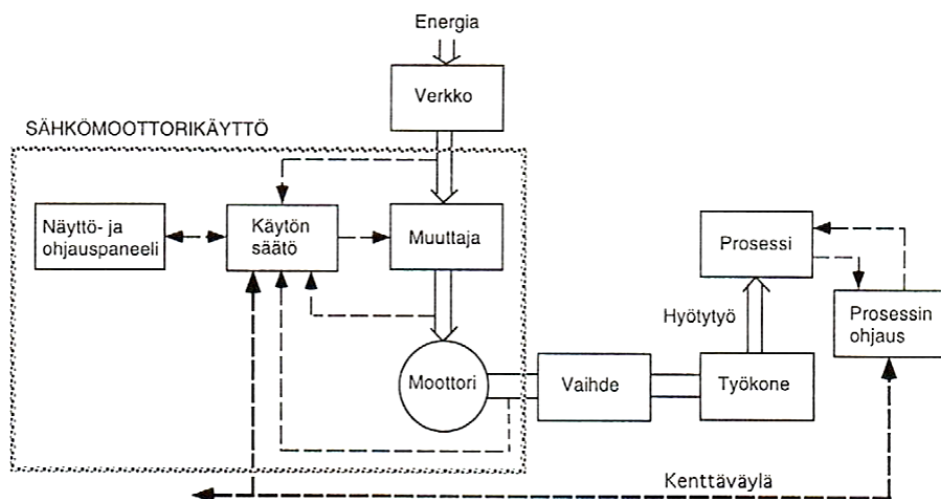
Kuva 6. Voimalaitoksen omakäyttösähkön jakautuminen vuonna 2014

Kuvassa 6 on esitetty sähkön kulutukset Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden voimalaitoksella. Suurin sähkökuluttaja voimalaitoksella on soodakattila 6 noin 38,2 %:n osuudella koko voimalaitoksen kulutuksesta. KK2:n ja K12:n yhteis-sähkönkulutus on kokonaiskulutuksesta noin 31,1 %. Soodakattila 5 on laitok-

sen kolmanneksi suurin sähkönkuluttaja 19,1 %:n osuudella. Paineilmankulutus voimalaitoksella aiheuttaa 2,5 %:n osuuden sähkön käytössä. Valaistuksen, syöttöveden käsittelyn, raakaveden pumppauksen ja kaasukattiloiden K9-11 yhteiskulutus on noin 11,5 %:n luokkaa. Kattilarakennuksen valaistuksen sähkönkäyttöä ei oteta huomioon tässä tarkastelussa.

## 2.6 Sähköt

Järjestelmiä, jotka muuttavat sähköistä energiaa mekaaniseksi energiaksi sähkömoottorien ja tehoelektroniikan avulla mahdollistaen liikkeen ohjauksen kutsutaan sähkökäyttöiksi (Aalto-yliopisto 2013). Kuvassa 7 on esitetty kuinka sähkömoottorikäyttö toimii osana sähköjärjestelmää. Sähkökäytön tarkoitus on hyötytyön tekeminen prosessille. Sähkökäyttöjä hyödynnetään teollisuudessa suurimmaksi osaksi nesteiden tai kaasujen siirtoon. Veden pumppaus tai ilman puhallukset ovat yleisiä kohteita sähkökäyttöille. (Niiranen 1999, 13, 60.)

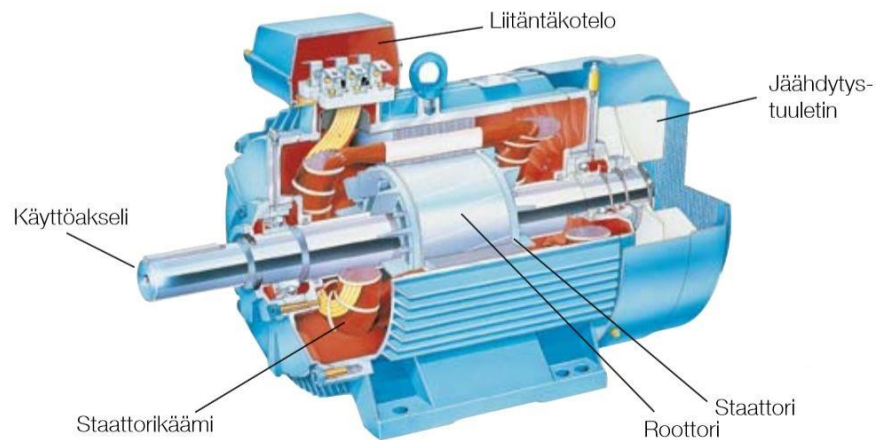


Kuva 7. Sähkömoottorikäyttö osana sähköjärjestelmää (Niiranen 1999, 13)

### Sähkömoottorit

Sähkömoottorilla pystytään sähköenergiaa muuttamaan mekaaniseksi energiaksi (Aura & Tonteri 1996, 139). Sähkömoottorit jaetaan kahteen ryhmään, vaihto- ja tasavirtamoottoreihin. Teollisuudessa käytössä on lähes yksinomaan vaihtovirtamoottoreita paremman hyötysuhteen ja vähäisemmän huoltotarpeen takia. Vaihtovirtamoottorit jaetaan rakenteensa mukaan edelleen alatyyppeihin. Näistä teollisuudessa yleisimmin hyödynnetyt tyypit ovat induk-

tio- eli oikosulkumoottori, vierasmagnetoitu tahtimoottori ja kestopagneetti- moottori. (Huhtinen ym. 2008, 307.)



Kuva 8. Oikosulkumoottorin läpileikkauskuva (ABB 2011)

## Induktiomoottori

Induktiomoottori eli oikosulkumoottori on teollisuudessa yleisimmin käytetty sähkömoottorityyppi. Oikosulkumoottoria kytetään ajamaan joko suoraan verkkoon kytkettynä tai taajuusmuuttajalla ohjattuna. Moottoreissa pyörimisnopeus on pienempi kuin vaihtovirran taajuus, jonka takia oikosulkumoottori kutsutaan myös epätahtikoneeksi. Moottori on käämitty staattorissa toimivaksi joko yksitai kolmivaihevirralla. (Huhtinen ym. 2008, 307.) Kuvassa 8 on esitetty läpileikkauskuva oikosulkumoottorista. Kolmivaiheinen moottori rakentuu rautalevystä valmistetusta staattorista ja staattorin sisällä olevasta pyörivästä roottorista. Staattorin sekä roottorin urissa on käämitys. (Hietalahti 2013, 156.) Moottorin takana oleva tuuletin vastaa jäähdytyksestä.

Kolmivaiheisen oikosulkumoottorin sähköverkosta ottama teho voidaan laskea kaavalla (3)

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (3)$$

jossa	P	sähköverkosta ottama sähköteho	[W]
	U	jännite	[V]

$I$	virta	[A]
$\cos \varphi$	moottorin tehokerroin	[-]

### Oikosulkumoottorin pyörintänopeus

Suoraan verkkoon kytketty moottori pyörii verkon taajuuden ohjaamana. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen vaikuttaa kaksi tekijää, staattorin käämin napojen lukumäärä ja verkon taajuus. (ABB 2011.) Taulukossa 5 on esitetty oikosulkumoottorin tahtinopeudet eri napamäärillä ja 50 hertsin taajuudella. Moottorin nopeus määräytyy kaavan 4 mukaisesti.

$$n = \frac{f}{p} \quad (4)$$

jossa	$n$	tahtinopeus	[1/min]
	$f$	verkon taajuus	[Hz]
	$p$	napojen lukumäärä	[kpl]

Taulukko 5. Tahtinopeudet eri napamäärillä

Napapari luku P	Tahtinopeus n, f = 50 Hz
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500
16	375
20	300

Roottorin nopeuden yltäessä staattorikentän nopeuteen, roottorin induktio häviää, jolloin koneen momentti on nolla. Moottori ei siis saavuta tahtinopeutta. Kuormittamattomalla moottorilla nopeus vastaa melkein tahtinopeutta. Kuorman kasvaessa moottorin nopeus alenee, koska sähkövääntömomentti ei riitä pitämään enää tasapainoa yllä. Roottorisauvoihin indusoituu isompi virta ja jännite, jolloin sähköinen vääntömomentti kasvaa. Pyörimisnopeus putoaa arvoon, jossa on syntynyt uusi momenttitasapaino. (Hietalahti 2013, 138).

Tahtinopeuden ja roottorin pyörimisnopeuden erotusta kutsutaan jättämäksi. Täydellä kuormalla jättämä on 2 - 5 %:n luokkaa. Suhteellinen jättämä voidaan laskea kaavalla 5.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \% \quad (5)$$

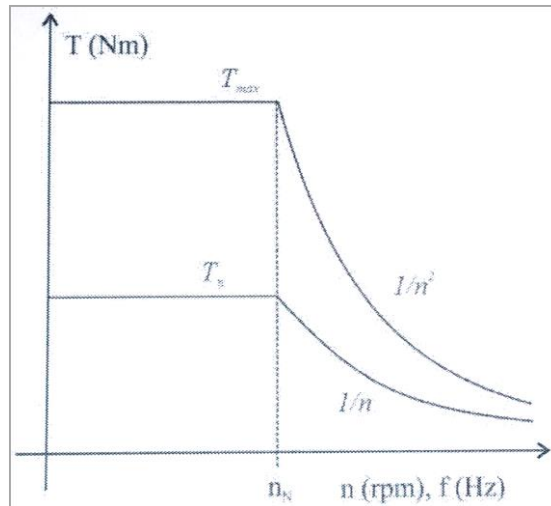
jossa	$s$	jättämä	[%]
	$n_s$	tahtinopeus	[1/min]
	$n$	roottorin pyörimisnopeus	[1/min]

(Hietalahti 2013, 139).

### Nopeuden säätö taajuusmuuttajalla

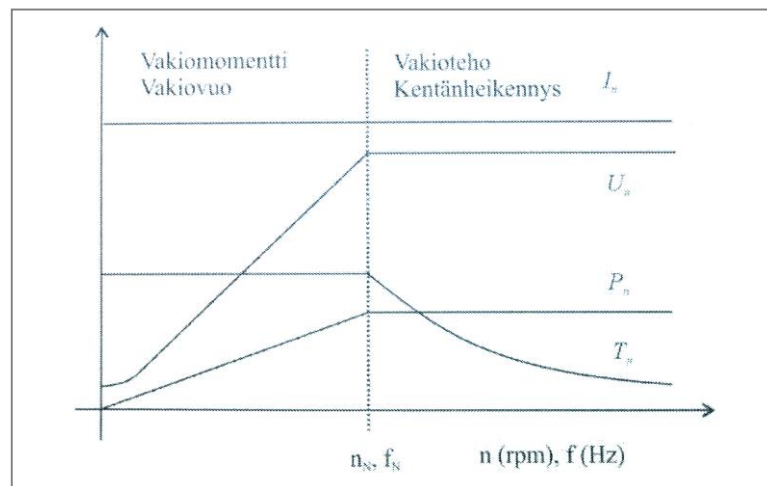
Vakiotaajuudella toimivassa verkossa ei voida moottorin pyörintänopeutta säätää. Tällöin pyörintänopeutta täytyy säätää muilla keinoin. Säädetyissä käytöissä moottoria ohjataan taajuusmuuttajan avulla. Näin kyetään muuttamaan syöttötaajuutta tarpeita vastaavaksi. (Hietalahti 2013, 153)

Taajuusmuuttaja kytketään verkkojännitteeseen joko yksi- tai kolmivaiheisesti. Taajuusmuuttajassa verkon vaihtojännite tasasuunnataan, jolloin muodostunut tasajännite voidaan muuttaa vaihtosuuntaajassa vaaditun taajuuden mukaiseksi vaihtojännitteeksi. Tasasuunnatusta ja suodatetusta jännitteestä saadaan niin sanottu välipiirin jännite. Välipiirin tasajännite muutetaan vaihtosuuntausosassa vaihtojännitteeksi ja tätä jännitteen taajuutta voidaan muuttaa. Pienennettäessä taajuutta jännitettä alennetaan mikä estää virran kasvun liian korkeaksi. Näin tehdään koska taajuuden pienetessä moottorin käämien impedanssi alenee. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2000, 147.)



Kuva 9. Epätahtikoneen jatkuvan momentin ja huippumomentin käyttöalue nopeuden funktiona (Hietalahti 2013, 154)

Kuvassa 9 on esitetty momentin käyttöalue nopeuden funktiona. Taajuusmuuttajalla voidaan saada moottorista maksimimomentti ja nimellinen momentti halutulla nopeudella säätämällä syötettävää taajuutta. (Hietalahti 2013, 154)



Kuva 10. Epätahtikoneen virta, jännite, teho ja momentti nopeuden funktiona (Hietalahti 2013, 154)

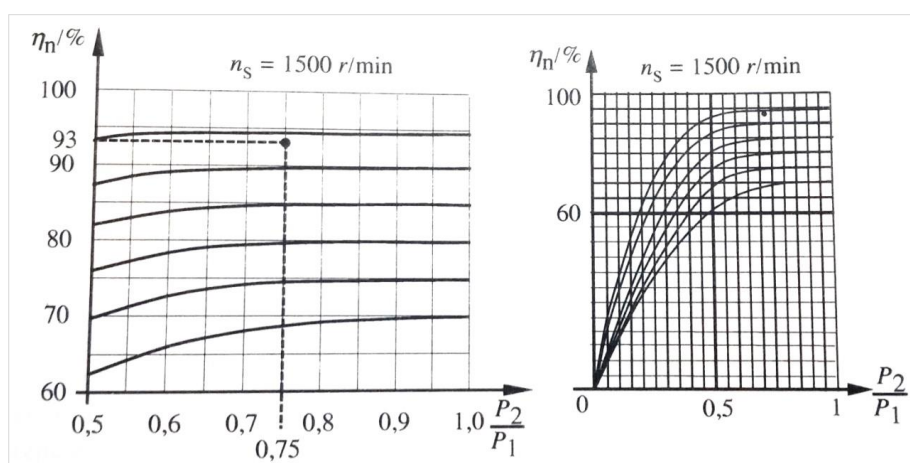
Kuvassa 10 on esitetty oikosulkumoottorin virta, jännite, teho ja momentti nopeuden funktiona. Taajuusmuuttajalla ohjatun moottorin nopeusalueita kutsutaan vakiovuo ja vakiomomenttialueeksi nopeuden ollessa pienempi kuin nimellinen nopeus. Vastaavasti nopeuden ollessa nimellistä suurempi on teho

vakio. Tehon ollessa vakio kutsutaan sitä vakiotehoalueeksi. Samaa aluetta kutsutaan myös kentänheikennysalueeksi, koska jännitetaso ei saa kasvaa nimellistä suuremmaksi. Jännitetason takia magneettikenttää täytyy heikentää. (Hietalahti 2013, 154.)

Taajuusmuuttaja ottaa verkosta pelkästään pätötehoa. Tarvittava loisteho tuotetaan kondensaattoreilla. Tällöin suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon loistehon kompensointia. Taajuusmuuttajan hyötysuhde on 97 - 98 %:n luokkaa. (Hietalahti 2013, 205 - 206.)

### Hyötysuhde

Oikosulkumoottoreiden hyötysuhde on riippuvainen siitä kuinka suuri moottori on. Myös kuormitusaste vaikuttaa moottorin hyötysuhteeseen. Yleisesti voidaan sanoa, että suuremmassa moottorissa on parempi hyötysuhde kuin pienemmässä nimellispisteessään. Suuremman kokoluokan moottoreissa hyötysuhde on noin 95 % ja pienemmissä alle 10kW moottoreissa 80 - 90 %:n luokkaa. (Huhtinen ym. 2008, 307).



Kuva 11. Oikosulkumoottorin hyötysuhteen muutos osakuormatehoilla (Aura & Tonteri 1996, 159)

Kuvassa 11 on havainnollistettu 0,25 - 800 kW oikosulkumoottoreiden hyötysuhteen muutos kun moottoria ajetaan osakuormalla. Hyötysuhteessa ei tapahdu merkittävää muutosta suuremmilla osakuormilla. Hyötysuhde pysyy lähes nimellishyötysuhteen suuruisena. Pienemmillä osakuormilla alkaa hyötysuhde putoamaan merkittävämmiin. Oikosulkumoottoriin ei ole yleensä merkitty hyötysuhdetta, mutta se voidaan laskea muista moottorin arvokilven tiedoista.

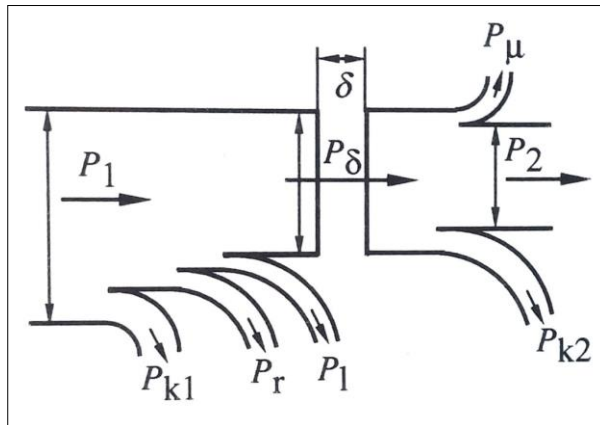


ta. (Aura & Tonteri 1996, 159.) Nimellinen hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 6.

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_1} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n I_n \cos \varphi_n} \quad (6)$$

jossa	$\eta_n$	nimellishyötysuhde	[-]
	$P_n$	nimellisteho	[W]
	$P_1$	moottorin ottama sähköteho	[W]
	$U_n$	nimellisjännite	[V]
	$I_n$	nimellisvirta	[A]
	$\cos \varphi_n$	nimellistehokerroin	[-]

Muuntoprosessissa sähköenergiasta liike-energiaksi syntyy häviöitä. Kuvassa 12 on esitetty kuinka sähkömoottoriin syötetty teho  $P_1$  muuttuu osittain häviöksi.



Kuva 12. Epätahtimoottorin tehonjaon virtauskaavio (Aura & Tonteri 1996, 157.)

Kuvassa 12 on esitetty seuraavat muuttujat:

$P_1$	moottorin ottama sähköteho
$P_2$	mekaaninen hyötyteho
$P_\delta$	ilmaväliteho

$P_{k1}$	staattorin resistiivihäviö
$P_{k2}$	roottorin resistiivihäviöt
$P_r$	rautahäviöt
$P_\mu$	mekaaniset häviöt
$P_l$	lisähäviöt

Moottorin häviöt  $P_h$  ovat laskettavissa kaavalla 7.

$$P_h = P_{k1} + P_r + P_l + P_{k2} + P_\mu, \quad (7)$$

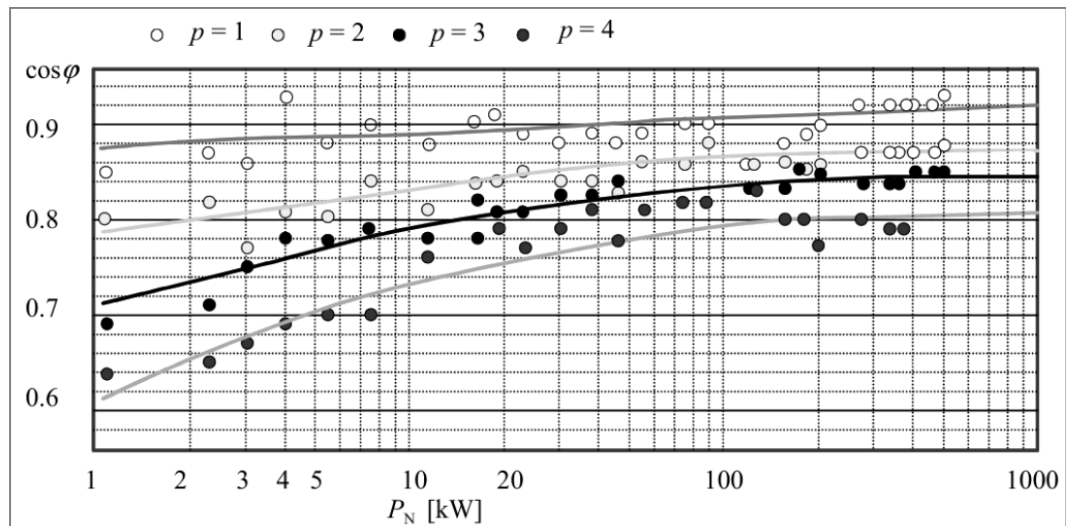
Moottorista saatu hyötyteho lasketaan kaavalla 8.

$$P_2 = P_1 - P_h \quad (8)$$

### Tehokerroin

Tehokertoimeksi kutsutaan pätötehon ja näennäistehon suhdetta. Tehokerroin kuvastaa paljonko sähkötehosta on pätötehoa ja kuinka paljon loistehoa. Se merkitään symbolilla  $\cos \varphi$ . Oikosulkumoottoreiden tehokerroin on yleensä 0,7...0,90 luokkaa. (ABB 2011.) Mekaanisen työn oikosulkumoottori tekee verkosta otetun pätötehon avulla, mutta moottori tarvitsee kuitenkin myös loistehoa magneettikentän ylläpitämiseen. Loisteho ei tee varsinaista työtä, joten sitä ei kannata siirtää sähköverkossa. Tämän takia se pyritään kompensoimaan kulutuskohteiden lähellä. Kompensointi on toteutettu kondensaattoreilla, joilla tuotetaan moottorin tarvitsema loisteho. Kyseisiä kompensointikondensaattoreita käytetään muun muassa teollisuuslaitoksissa. Yleensä teollisuuslaitoksissa on paljon loistehoa aiheuttavaa moottorikuormitusta. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2014)

Moottoriin merkitty nimellistehokerroin pätee vain nimellispisteessä. Tehokerroin laskee osakuormilla huomioitavasti ja tehokertoimen putoaminen huomioidaan kertomalla osakuormaa vastaavalla suhteellisella tehokertoimella. (Motiwatti 2.0 energiakatselmoijan työkalun laskentaperiaatteet 2003, 42)



Kuva 13. Tehokerroin täysin suljetussa oikosulkumoottorissa (ABB M3000) moottorin tehon funktiona ja napaparien lukumäärän vaikutus tehokertoimeen (Pyrhönen, Jokinen & Hrabovcova 2014, 381)

Kuvassa 13 on esitetty myös moottorin napaparien lukumäärän vaikutus nimellistehokertoimeen eri tehoisissa oikosulkumoottoreissa. Napaparin lukumäärän kasvaessa tehokerroin pienenee. (Pyrhönen ym. 2014, 380)

Moottorin tehokertoimen putoaminen on otettu huomioon sähkönkulutuksen tutkimusvaiheen alaluvussa 3.6. Kuvassa 35 on esitetty liitteen 1 taulukon pohjalta tehty tehokerroin kuvaaja. Kuvaajasta selviää ABB:n moottorien tehokertoimen muutos suhteessa kuorman muutokseen.

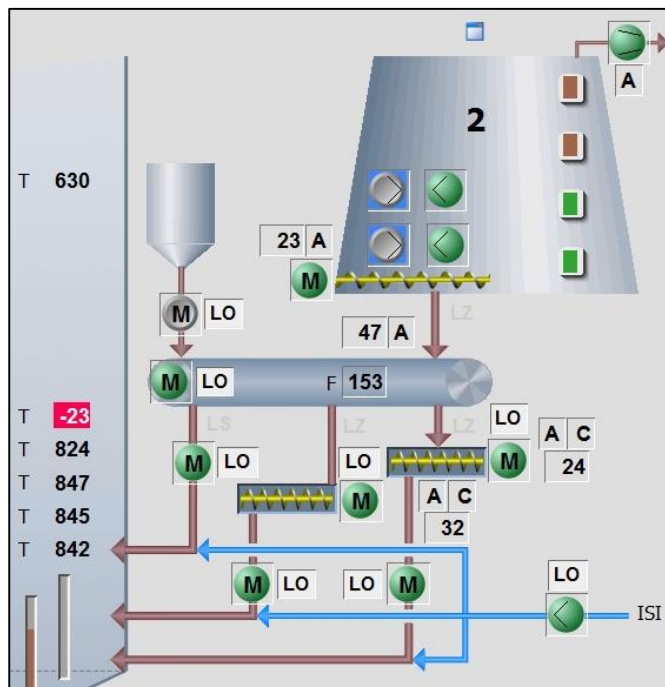
## 2.7 Kuorensiirtolaitteet

Kuorensiirtolaitteita tarvitaan kuljettamaan polttoainetta kuorikattilaan kuorikentältä. Polttoaine kuljetetaan kuorikentältä kahdella peräkkäisellä hihnalla kahteen kuorisiiloon. Kuorisiilojen päällä oleva jakokuljetin jakaa kuoren siiloihin valinta-automaatiikan ohjaamana. Taulukossa 6 on lueteltu kuoren siirtoon tarvittava laitteisto kentältä kattilan tulipesään ja niiden lukumäärät.

Taulukko 6. Kuorensiirtolaitteet ja lukumäärät

Laitteet	Lukumäärä kpl
Hihnakuuljetin	2
Jakokuuljetin	1
Siilon purkain	2
Kolakuuljetin	2
Syöttöruuvi	4
Sulkusyötin	6
Syöttöilmapuhallin	2

Siiloista kuori puretaan purkaimilla siilojen alla sijaitseville kolakuuljettimille. Kolakuuljettimilta kuorta ajetaan kattilan tarvitseman tehon mukaan kattilaan poltettavaksi yhteensä kuuden pudotustorven kautta. Kolakuuljettimilta kuori putoaa syöttöruuveille, josta polttoaine annostellaan sulkusyöttimien kautta kattilaan. Kolakuuljettimen lopussa ei ole syöttöruuvia vaan kuori putoaa pelkästään sulkusyöttimen kautta kattilaan. Syöttöilmapuhallin syöttää ilmaa jokaisen sulkusyöttimen jälkeiseen kanavaan, jolloin poltettava kuori leviää tasaisemmin kattilan palotilaan.



Kuva 14. Kuorenkuljetuslaitteet siilolta kattilaan (Stora Enso Oyj. 2015c)

KK2:n molemmilla sivuilla on oma kuorensyöttölinjasto. Kuorta voidaan ajaa tarpeen vaatiessa pelkästään yhdellä linjastolla. Kuvassa 14 on esitetty kuorikattilan toinen kuorensyöttölinjasto siilolta kattilaan ja sen jälkeiset kuorensiirtoon tarvittavat laitteet.

Kattilaan tarvittavaa polttoaineen määrää ohjaa kattilan tehontarve. Siilon alapuolella sijaitsee kolakuljetin, jonka alapuolella sijaitsevat syöttöruuvit ja sulkusyöttimet. Siniset nuolet kuvaavat ilman syöttöä sulkusyöttimen jälkeisiin pudotustorviin. Syöttöilma tuotetaan molemmille kattilan sivuille omalla puhalltimella.

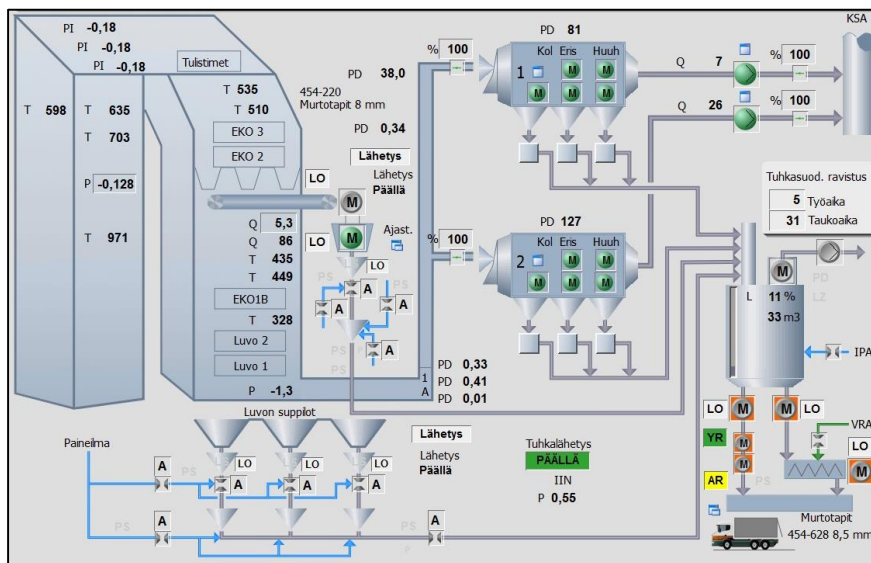
## 2.8 Tuhkalähetysten paineilman kulutus

Ilman puristaminen tarvittavaan paineeseen aiheuttaa huomattavan lisän sähkönkulutukseen. Paineilman tuottamiseen tarvittavat kompressorit toimivat yleisesti ottaen heikolla hyötysuhteella, jolloin paineilman tuottaminen tarvitsee huomattavan määrän sähköenergiaa. Kuvassa 15 on esitetty kustannusten jakautuminen paineilman tuotossa. Suurin osa kaikista kustannuksista syntyy energiankulutuksessa. Paineilmantuoton suuren energiankulutuksen takia on löydettävä ratkaisuja joiden avulla saavutetaan hyvälaatuista paineilmaa pienellä energian kulutuksella. Ohjausjärjestelmän valinta on merkittävässä osassa kustannussäästöjä haettaessa. Kuluja pystytään myös pienentämään alentamalla verkoston ilmanpainetta ja vuotojen korjauksilla. (Know-Pap. 2013)



Kuva 15. Paineilman tuottamisen kustannusjakauma (KnowPap. 2013)

KK2:lla paineilman käyttöä tutkitaan automaattisesti toimivissa pneumaattisissa tuhkalähetyksissä. Tehtaan paineilmaverkoston tavoitepaine on noin 0,58 MPa, joka on myös tuhkan lähetyspaine. Paineilmaa hyödynnetään tarvittaessa myös työilmana apuna työtehtävissä. Lisäksi paineilmaa käytetään kahdella ääninuohoimella. Paineilmaa käytetään myös instrumentti-ilmana pneumaattisissa toimilaitteissa. Instrumentti-ilmalla on omat lisäsuodattimensa. Tarkastelussa ei oteta huomioon muita ilmanpaineen kuluttajia kuin tuhkalähetykset.



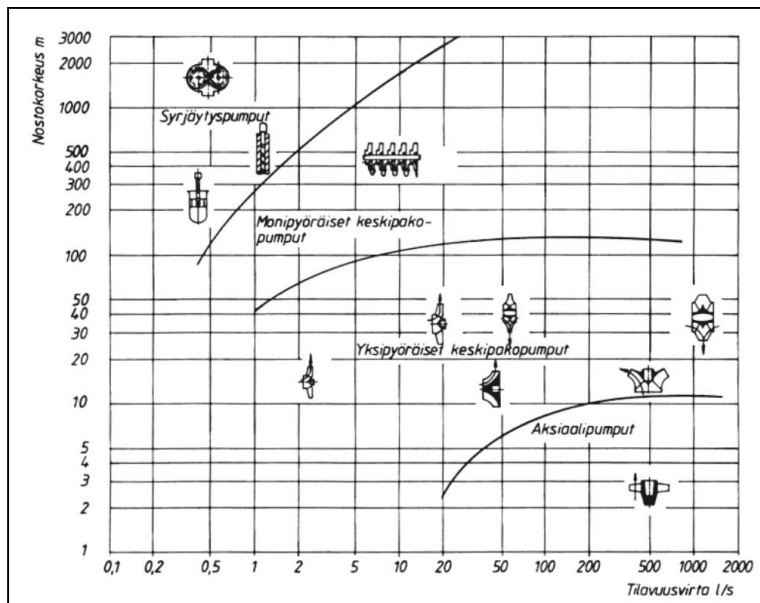
Kuva 16. Tuhkalähetykset (Stora Enso Oyj. 2015c)

Kuvassa 16 on KK2:n säännöllisesti paineilmaa käyttävien tuhkalähetysten prosessikaavio. Kattilahuoneen alakerrassa sijaitsevat luvon tuhkalähetykset, jotka lähettävät säännöllisesti tuhkasuppiloihin kertynyttä tuhkaa putkia pitkin tuhkasiiloon. Myös ekojen alapuolella on tuhkalähetyspippilo, johon tuhka pudotetaan kuljettimella. Tuhkalähetyspippiloita on myös kattilahuoneen yläkerrassa sähkösuotimien alla, josta tuhka edelleen lähetetään paineilmalla tuhkasiiloon. Lentotuhkasiilosta tuhka puretaan kuljetusautoon, joko kuivana tai kostutettuna (Stora Enso Oyj. 2015d).

Tuhkalähetykset toimivat sekä pintalähettimen, että ajan ohjaamana. Kun pintalähetin saa rajatiedon lähetys alkaa automaattisesti. Vastaavasti ilman pintakytkin tietoa lähetykset toimivat määritellyn ajan ohjaamina. Puhallusajat on myös määritelty järjestelmään erikseen. Tarkemmin puhallus- ja taukoajat on käsitelty myöhemmin luvussa (3.5).

## 2.9 Pumput

Nesteiden siirtämiseen eri nostokorkeuksilla ja tilavuusvirroilla on teollisuudessa käytössä useita erilaisia pumppuja. Pumput jaetaan toimintaperiaatteen mukaan kahteen pääryhmään, syrjäytuspumppuihin ja dynaamisiin pumppuihin. Keskipako- ja aksiaalipumput ovat dynaamisia pumppuja. Syrjäytuspumput on tarkoitettu nesteiden siirtämiseen, kun nostokorkeudet ovat suuret ja nestevirrat pienet. Näitä käytetään muun muassa kemikaalien annostelupumppuina. Vastaavasti aksiaalipumppuja käytetään, kun nestevirrat ovat suuret ja nostokorkeudet pienet. Usein jäähdytysvesipumput ovat tällaisia. Edellä mainittujen pumppujen välialueelle sijoittuvat keskipakopumput. (Huhtinen ym. 2008, 134)



Kuva 17. Toiminta-alue tilavuusvirran ja nostokorkeuden suhteen (Energiatehokkaat pumput 2011, 7)

Kuvassa 17 on esitetty eri pumputyypin toiminta-alueita tilavuusvirran ja nostokorkeuden suhteen. Keskipakopumpuilla käyttöalue on laaja. Noin 80 % nesteiden siirrosta prosessiteollisuudessa vastaa yksipyöräiset keskipakopumput. (Energiatehokkaat pumput 2011, 7).

Teollisuudessa pumppuja käytetään useissa eri paineluokissa, jos prosessiin tarvittavaa korkeampaa painetta ei pystytä tuottamaan yhdellä keskipakopumpulla käytetään monipyöräisiä keskipakopumppuja. Paine nostetaan useassa sarjaan kytketyssä juoksupyörässä. Esimerkiksi voimalaitoksella syöttövesipumput ovat monipyöräisiä keskipakopumppuja. (Huhtinen ym. 2008, 134)

Paineen noustessa yli 10 MPa, täytyy syöttövesipumppuina käyttää niin sanottuja kotelopumppuja. Paineen noustessa näin ylös, tavallisen monivaiheisen sarjapumpun tiivistäminen olisi vaikeaa. Erona tavalliseen monivaiheiseen syöttövesipumppuun on, että kotelopumpussa pumppu on asennettu taotun paksuseinäisen sylinterivaipan sisäpuolelle. (Huhtinen ym. 2000, 225).

## 2.10 Pumppujen säädöt

Säätötavan perusteella pumput voidaan jakaa seuraavasti:

- on-off-säätö



- kuristusäättö
- ohitusvirtaussäätö eli takaisinvirtaussäätö
- kierroslukusäätö (Energiatehokkaat pumput 2011, 8.)

### **On -off -säätö**

On-off säätöä voidaan hyödyntää silloin, kun ei ole tarvetta portaattomalle pumpun säädölle. Tällöin pumppu pyörii vain tarvittavan ajan ja sammuu sen jälkeen. Tarvittava käyntitieto pumpulle voi tulla esimerkiksi säiliön pinnan rajatiedoista. Säätö soveltuu hyvin käytettäväksi kohteissa, joissa halutaan esimerkiksi pitää paine tai pinta tiettyjen rajojen sisällä. (Energiatehokkaat pumput 2011, 8.)

### **Kuristussäätö**

Kuristussäätö on yleisin ja samalla yksinkertaisin käytössä oleva säätötapa. Painepuolella olevalla säätöventtiilillä voidaan lisätä nostokorkeutta ja pienentää tilavuusvirtaa venttiiliä kuristamalla. Säätötapa ei ole taloudellinen, koska pumpun on tuotettava suurempi paine kuin siirtämiseen tarvittaisiin. Pumpulla tuotettu korkea paine lasketaan vaaditulle tasolle kuristamalla nestevirtausta venttiilillä, jolloin siihen käytetty energia muuttuu häviöksi. Myös venttiili joutuu kovemman rasituksen alaiseksi jatkuvassa virtauksessa. On huomattava myös, että imupuolelta ei saa kuristaa virtausta mahdollisen kavitoinnin takia. (Huhtinen ym. 2008, 141–142.) Kuristussäätö on hankintakustannuksiltaan edullinen, mutta käyttökustannukset ovat vastaavasti korkeammat.

### **Ohitusvirtaussäätö**

Ohitusvirtaussäädössä johdetaan painepuolen linjasta osa takaisin imupuolelle. Edestakaisesti kiertävä neste ei ole energiatehokas ratkaisu, koska osa pumpun tuottamasta tehosta muuttuu suoraan häviöksi. (Energiatehokkaat pumput 2011, 8.)

### **Kierroslukusäätö**

Kierroslukusäädössä säädetään pumpun pyörimisnopeutta ja sen tarkoitus on muuttaa pumpun toiminta-arvoja kierroslukua lisäämällä tai vähentämällä.

Kierroslukusäätö ei aiheuta merkittäviä häviöitä. Säätö toteutetaan, joko nestekytkimellä tai taajuusmuuttajalla. (Energiehokkaat pumput 2011, 8.)

Suuremmissa teholuokissa käytetään yleensä nestekytкимиä ja niitä on käytössä vielä monissa laitoksissa. Prosesseissa, joissa toimintavarmuus on ehdoton, käytetään edelleen nestekytкимиä, koska ne eivät ole niin herkkiä ohjaustekniikasta tuleville häiriöille. Nestekytkimellä varustetun pumppausjärjestelmän rakenne on monimutkaisempi ja kunnossapitokustannukset isommat. Myöskään ylikierroksilla ajaminen ei ole mahdollista. (Energiehokkaat pumput 2011, 8.)

Taajuusmuuttajilla toteutettu kierrossäätö on nykyisin ensijainen säätökeino. Kyseisessä säätötavassa muutetaan pumpun sähkömoottorille tulevan sähköön taajuutta. Taajuutta muuttamalla vaikutetaan pumpun moottorin kierrosnopeuteen ja sitä kautta pumpun pyörimisnopeuteen. Taajuusmuuttajasäädössä pumpun hyötysuhde pysyy yleensä korkealla suurella säätöalueella. Myös pumpun käynnistykset ja pysäytykset ovat laitteiston ja prosessin kannalta hallitumpi toteuttaa. Vastaavasti pienillä kierroksilla hyötysuhde voi alentua huomattavasti, mutta tällöin myös tehon tarve on vähäinen. Myös ohjaustekniikan häiriöt ovat yleisempiä kuin nestekytkinsäädössä. Häiriöt taajuusmuuttajassa voivat aiheuttaa pidempiaikaisen keskeytyksen pumppauksessa ja sitä koko kautta prosessi voi häiriintyä. (Energiehokkaat pumput 2011, 8.)

Seuraavat syyt ovat vaikuttaneet taajuusmuuttajakäytön lisääntymiseen;

- hinnat alentuneet
- hyötysuhde parantunut
- koko pienentynyt
- pumpun tilantarve pienempi
- luotettavuus parantunut (Kaukolämmön pumppausjärjestelyt 2011)

## 2.11 Syöttövesipumput

Syöttövesipumpun tehtävä voimalaitoksella on syöttää kattilan tarvitsema vesi. Korkeat paineet ja lämpötilat aiheuttavat sen, että syöttövesipumpuilta vaaditaan rakenteellisesti eniten muihin voimalaitoksella käytettäviin pumppuihin nähden. (Huhtinen ym. 2000, 225.) Syöttövesipumput ovat voimalaitoksen

suurimpia yksittäisiä sähkön kuluttajia, kuten sähkönkulutustutkimuksen alalu-  
vussa 3.7 voidaan todeta.

KK2:lla syöttövesipumput 1 ja 2 ovat monivaiheisia sarjapumppuja. Syöttövesi  
otetaan ajonaikana KK2:n omasta syöttövesisäiliöstä yhdellä täyden tehon  
syöttövesipumpulla. Yksi täyden tehon pumppu pystyy vastaamaan kattilan  
tarvitsemasta vedestä. Samalla toinen pumpuista toimii varapumppuna pro-  
sessissa. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Taulukossa 7 on esitetty tekniset tiedot  
KK2:n syöttövesipumpuista.

Taulukko 7. KK2:n syöttövesipumppujen ja moottorien tekniset tiedot

<b>Pumput</b>	
Lukumäärä [kpl]	2
Tyyppi	KSB HGC 511
Nestekytin	Voith Turbo 562 SVN 33
Käyttölämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]	110
Mitoitusvirtaus [kg/s]	104
Loppupaine [MPa]	12,5
Nostokorkeus [m]	1 318
Mitoituskiertosluku [1/min]	2 910
Minimikiertosluku [1/min]	1 200
<b>Siemens -moottorit</b>	
Nimellisteho [kW]	1 800
Nimellisvirta [A]	118
Jännite [kV]	10,5
Nimellistehokerroin $\cos \phi$	0,87
Nimellinen hyötysuhde [ $\eta$ ]	0,96
Pyörintänopeus [1/min]	2 987

Syöttövesipumpuissa on Siemensin valmistamat sähkömoottorit. Moottori on  
niin sanottu suorakäyttö eli moottori on kytketty suoraan verkkoon. Se pyörii  
vakionopeudella, jolloin pumpun pyörintänopeutta täytyy muuttaa erillisellä  
nestekytkimellä.

Yksistään pumpun pyörintänopeutta säätämällä ei pystyittäisi toteuttamaan  
tarkkaa ja nopeaa pinnansäätöä. Pelkästään pumpun painepuolen kuristus-  
säätö olisi nopea ja tarkka, mutta epätaloudellinen. Tästä johtuen käytetään

yhdistettyä säätöä. Pumppu vastaa säätöventtiiliin yli menevästä paine-erosta kierrosnopeutta säätämällä ja vastaavasti lieriön pinnansäätöventtiili reagoi nopeasti lieriön pinnan vaihteluihin. Yhdistetyllä säätötavalla saadaan kuristushäviöt pysymään kohtuullisena. (Huhtinen ym. 2000, 270.)

## 2.12 Ruiskutusvesipumput

Ruiskutusvesipumpuilla otetaan jäähdytysvettä KK2:n syöttövesisäiliöstä turbiini 7 jälkeisiin matala- ja välipainehöyrylinjoihin. Näin säädetään turbiinilta 7 tulevan höyryn lämpötilaa. Lisäksi jäähdytysvettä ajetaan tarvittaessa säätöventtiilien ohjaamana paineenalennusventtiileille eli reduktioventtiileille (RV1-RV3). (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Ruiskutusvesipumput ovat monipyöräisiä korkeapaine-keskipakopumppuja. Ruiskutusvesipumppuja on kaksi, joista normaali ajotilanteessa toinen pumppuista on käynnissä ja toinen on varalla. Pumput ovat varustettu kierroslukusäätöisellä nestekytkimellä. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Taulukossa 8 on lueteltu ruiskutusvesipumppujen ja moottorien tekniset tiedot.

Taulukko 8. Ruiskutusvesipumppujen ja moottorien tekniset tiedot

<b>Pumput</b>	
Lukumäärä [kpl]	2
Käyttölämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]	110
Tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	208,3
Minimivirtausmäärä [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	27,3
Pumpun syöttöpaine [MPa]	0,14
Pumpun loppupaine [MPa]	3,5
Kierrosluku [1/min]	2 882
Minimikierrosluku [1/min]	2 000
<b>ABB:n moottorit</b>	
Nimellisteho [kW]	315
Nimellisvirta [A]	295
Jännite [V]	690
Nimellistehokerroin $\cos \phi$	0,92
Nimellinen hyötysuhde [ $\eta$ ]	0,97
Pyörintänopeus [1/min]	2 976

Ruiskutuspumppuissa on ABB:n valmistama sähkömoottorit. Syöttövesipumppujen tapaan sähkömoottorit on kytketty suoraan verkkoon eli pyörintänopeus on vakio. Pumppujen kierrosnopeudensäätö tapahtuu nestekytkimen avulla.

Kierrosnopeudella säädetty pumppu vastaa painepuolen linjaston paineesta. Jäähdytysveden virtauksen säätö on toteutettu säätöventtiilillä.

## 2.13 Puhaltimet

Puhaltimia tarvitaan kuorikattilalla ilman siirtämiseen kattilan palamistilaan sekä savukaasujen poistoon. Kattilan ilma-savukaasujärjestelmä rakentuu leijulmajärjestelmästä, sekundääri-ilmajärjestelmästä, savukaasu- ja kiertokaasujärjestelmästä. Tärkein tehtävä kattilan ilmajärjestelmällä on tuoda tulipesään tarvittava ilma eri tasoihin niin, että kontrolloidaan päästöjä ja polton tehokkuutta eri tehoilla. Syötettävä polttoainemäärä säätää kattilaan tulevaa kokonaisilmaa. Ennalta laskettujen ilma-polttoainesuhteiden muutokset tapahtuvat savukaasujen happipitoisuuden mukaan. (Huhtinen ym. 2008, 40-41.)

Leijutusilmaa tuotetaan leijuvaan hiekkakerroksen ylläpitämiseksi. Leijutusalun vastaa korkeapaineisen ilman tuottamisesta kattilan alaosaan leijutusilmaksi. Ilmaa myös esilämmitetään tarvittaessa höyryluvolla. Samaan imukanavaan on kytketty kiertokaasupuhallin. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

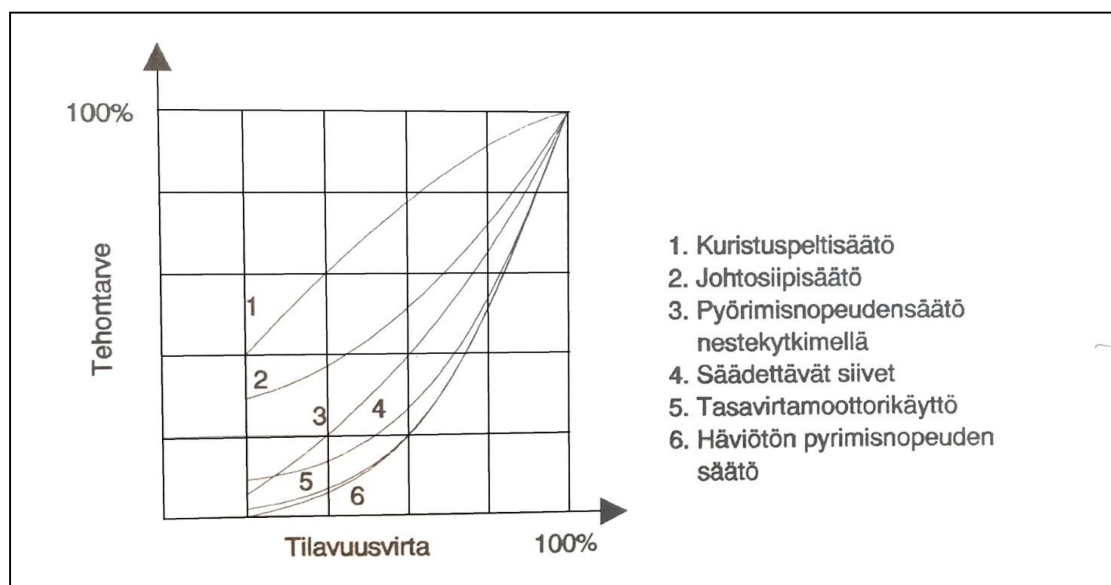
Sekundääri-ilmapuhallin vastaa pääasiallisesti kattilan palamisilman syöttämisestä sen eri tasolle täydellisen palamisen varmistamiseksi. Sekundääri-ilmavyöhyke on jaoteltu ala- ja yläsekundääriksi. Lisäksi puhalltimella tuotetaan tertiääri-ilma, jolla säädetään kattilan jäännöshappi. Myös kattilan neljälle kuormakaasupolttimelle menee palamisilma sekundääri-ilmakanavasta. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Kahden savukaasupuhaltimen tehtävä on kuljettaa kattilassa muodostuvat savukaasut pois kattilasta sähkösuodattimien kautta savupiippuun. Puhaltimien avulla kattilassa ylläpidetään noin 0,1..0,2 kPa alipainetta. Tällöin savukaasut eivät kantaudu ulos kattilasta kattilarakennukseen. (Stora Enso Oyj. 2015d.)

Kiertokaasupuhallimella pystytään kontrolloimaan tulipesän lämpötilaa (800-900°C). Jos tulipesän lämpötila pyrkii nousemaan liian korkeaksi, lämpötilaa pyritään hallitsemaan kiertokaasupuhallimella. Puhallin ottaa savukaasukanavasta kylmiä savukaasuja ja kuljettaa ne kattilaan leijutusilman mukana jäähdyttämällä tulipesää. Kiertokaasulla myös alennetaan leijutusilman happipitoisuutta, jolloin vapautuva lämpöenergia vähenee alentaen pedin lämpötilaa. (Huhtinen ym. 2008, 42-43.)

## 2.14 Puhaltimien säädöt

Puhaltimien säätömahdollisuuksia on useita erilaisia riippuen käyttökohteiden vaatimista tarpeista. Valittaessa säätöjärjestelmää puhaltimeen on kiinnitettävä huomio esimerkiksi hankintahintaan, kestävyyteen ja energiankulutukseen. Tärkeimmät säätötavat puhaltimilla ovat kuristussäätö, johtosiipisäätö, siipikulmasäätö ja pyörimisnopeussäätö. (Huhtinen ym. 2000, 244.) Kuvassa 18 on selvennetty kuinka eri säädön valinta vaikuttaa puhaltimen energiankulutukseen.



Kuva 18. Säätötavan vaikutus energiankulutukseen (Huhtinen ym. 2000, 245)

### Kuristussäätö

Kuristussäädössä ilmavirtaa pienennetään kanavistoon asennetun säätöpellin avulla. Säätötapa on rakennuskustannuksiltaan edullinen ja sitä voidaan hyödyntää kaikissa puhaltimissa. Käyttökustannuksiltaan säätö on epäedullinen suuremman energiankäytön takia. (Huhtinen ym. 2000, 244.)

### Johtosiipisäätö

Johtosiipisäätöisessä puhaltimessa säädetään ilman virtausta imuaukkoon asennetulla johtosiipisäätimellä. Ilmalle annetaan puhaltimen siipipyörän suuntainen pyörimisliike ja tällöin paineentuotto sekä tehontarve puhaltimessa vähenee. Keskipakopuhaltimissa hyödynnetään yleisesti johtosiipisäätöä, koska säätö edullinen ja aiheutuneet häviöt ovat pienemmät kuin kuristussäädössä.

(Huhtinen ym. 2000, 244.) Kuvasta 18 selviää kuristussäädön ja johtosiipisäädön energiankäytön ero. Kuristussäädössä tehontarve on alusta alkaen suurempi ja nousee jyrkemmin verrattuna johtosiipisäätöön.

### Siipikulmasäätö

Siipikulmasäätöä voidaan hyödyntää ainoastaan aksiaalipuhaltimissa. Säätö tapahtuu, kun siipien asentoa muutetaan. Tällöin paine-ero ja tilavuusvirtaus muuttuvat. Energiankulutuksen kannalta säätötapa on edullinen ja häviöt ovat pienet. (Huhtinen ym. 2000, 244.)

### Pyörimisnopeussäätö

Pyörimisnopeussäädössä vaikutetaan suoraan puhaltimen pyörimisnopeuteen. Tällöin ilma virtaa samassa kulmassa siipipyörään eivätkä häviöt näin ollen kasva. Säätötapa on energiatehokas ratkaisu, koska moottori ottaa verkosta vain tarvitsemansa määrän sähköenergiaa. Pyörimisnopeudensäätöä voidaan hyödyntää kaikissa puhaltimissa. (Huhtinen ym. 2000, 245.)

## 2.15 Leijuilmapuhallin

KK2:n leijuilmapuhallin on johtosiipisäätöinen radiaalipuhallin. Puhallin vastaa kuorikattilan hiekkakerroksen leijuttamisesta kaikissa käyttöolosuhteissa. Jatkuvan leijutuspaineen ylläpitämiseksi on puhaltimelle aseteltu minimitoimintapiste. Tuleva ilma otetaan kattilarakennuksen yläkerrasta. Puhaltimella on yhteinen imukanava sekundääri/tertiääri-ilmapuhaltimen kanssa. Myös kiertokaasupuhallin on kytketty leijuilmapuhaltimen imukanavaan. Kuvassa 19 on esitetty yksinkertaistettu kaavio leijuilmapuhaltimen, höyryluvon ja kiertokaasupuhaltimen kytkennästä.



Kuva 19. KK2:n leijuilmapuhaltimen, höyryluvon ja kiertokaasupuhallin kytkentä prosessissa (kuva muokattu) (Stora Enso Oyj. 2015c)

Tulevan ilman lämpötila on noin 35 °C. Höyryluvolla varmistetaan ilman tarvittava lämpötila ennen savukaasuluvoja. Höyryluvolta ja puhaltimelta ilma ajetaan savukaasuluvojen kautta kattilan tulipesän leijutusilmaksi. Tällöin ilman lämpötila on noussut yli 200 asteeseen. (Stora Enso Oyj. 2015d.)



Kuva 20. KK2:n leijuilmapuhallin

Kuvassa 20 on KK2:n leijutusilman tuottamisesta vastaava johtosiipisäätöinen radiaalipuhallin. Puhaltimessa on Siemensin valmistama sähkömoottori. Sähkömoottori on suoraikäyttömoottori eli pyörintänopeus on vakio. Puhaltimen ja sähkömoottorin tekniset tiedot on lueteltu taulukossa 9.

Taulukko 9. Leijuilmapuhaltimen ja sähkömoottorin tekniset tiedot

#### **Puhallin**

Lukumäärä [kpl]	1
Säätötapa	Johtosiipisäätö
Tulevan ilman lämpötila [°C]	35
Ilmamäärä [NM <sup>3</sup> /s]	43,2
St. paine-ero [Pa]	15 000

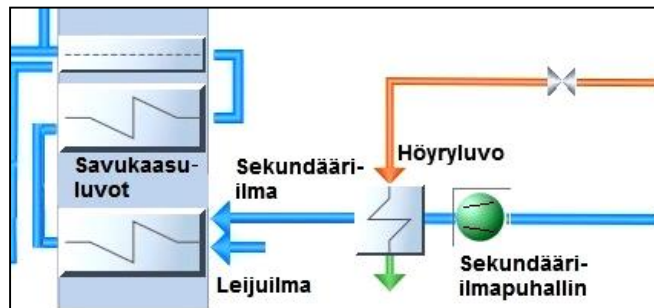
#### **Siemens -moottori**

Nimellisteho [kW]	950
Nimellisvirta [A]	62
Jännite [kV]	10,5
Nimellistehokerroin $\cos \phi$	0,87
Nimellinen hyötysuhde [ $\eta$ ]	0,97
Pyörintänopeus [1/min]	1 490



## 2.16 Sekundääri-ilmapuhallin

Polttoon tarvittava varsinainen palamisilma säädetään aksiaalityyppisellä ja juoksusiipisäätöisellä sekundääri-ilmapuhaltimella. Lisäksi puhaltimelta ajetaan kattilaan myös tertiääri-ilma ja ilma polttimille. Sekundääri- ja tertiääri-ilmalla säädetään kattilan tarvitsema palamisilmamäärä. Höyryluvo on sijoitettu puhaltimen jälkeen ja sen tarkoitus on estää savukaasuluvon rikkikorroosio. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Kuvassa 21 on esitetty yksinkertaistettu kaavio sekundääri-ilmapuhaltimen ja höyryluvon kytkennästä prosessissa.



Kuva 21. Sekundääri-ilmapuhaltimen ja höyryluvon kytkentä prosessissa (kuva muokattu) (Stora Enso Oyj. 2015c)

Sekundääri-ilmapuhaltimen jälkeinen höyryluvo on käytössä jatkuvasti varmistamassa ilman tarvittavan lämpötilan ennen savukaasuluvoja. Kuvassa 22 on KK2:n palamisilman tuottamisesta vastaava juoksusiipisäätöinen sekundääri-ilmapuhallin.



Kuva 22. KK2:n Sekundääri-ilmapuhallin

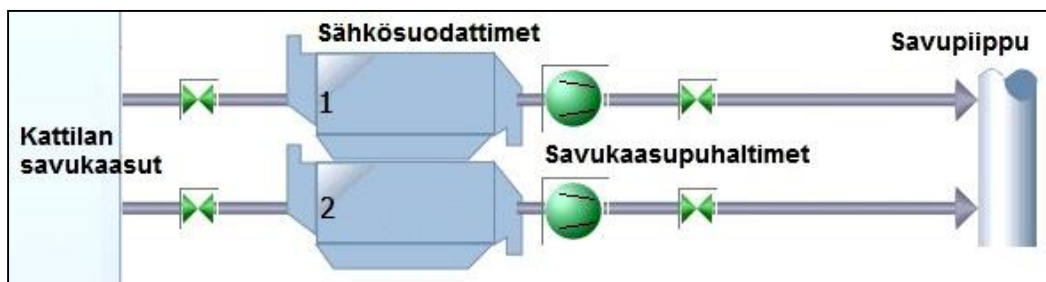
Sekundääri-ilmapuhaltimessa on ABB:n valmistama sähkömoottori. Moottori on suorasähkökäyttöinen ja tarvittava ilmamäärä säädetään juoksusiipisäädöllä. Taulukossa 10 on lueteltu puhaltimen ja moottorin teknisiä tietoja.

Taulukko 10. Sekundääri-ilmapuhaltimen ja sähkömoottorin tekniset tiedot

<b>Puhallin</b>	
Lukumäärä [kpl]	1
Säätötapa	Juoksusiipisäätö
Ilman lämpötila [°C]	35
Ilmamäärä [NM <sup>3</sup> /s]	64
St. paine-ero [Pa]	4 800
<b>ABB -Moottori</b>	
Nimellisteho [kW]	630
Nimellisvirta [A]	650
Jännite [V]	690
Nimellistehokerroin $\cos \varphi$	0,89
Nimellinen hyötysuhde [ $\eta$ ]	0,91
Pyörintänopeus [1/min]	1 490

## 2.17 Savukaasupuhaltimet

KK2:n savukaasujen poistosta vastaavat kaksi rinnakkain aseteltua savukaasupuhallinta. Puhaltimilla on oma suhdesäätö, jolloin puhaltimia voidaan ajaa eri kuormituksella. Puhaltimet ovat juoksusiipisäätöisiä aksiaalipuhaltimia. Savukaasupuhaltimien mitoitus on 2 x 70 %. Tulipesästä savukaasut kulkeutuvat kanavia pitkin kahdelle rinnakkaiselle sähkösuotimelle ja sieltä savukaasut johdetaan edelleen savukaasupuhaltimien kautta savupiippuun. Savukaasujen loppulämpötilan tulisi täydellä ajolla olla noin 170 °C. (Stora Enso Oyj. 2015d.) Kuvassa 23 on esitetty yksinkertaistettu kaavio savukaasupuhaltimien kytkennästä.



Kuva 23. Savukaasupuhaltimien kytkentä prosessissa. (kuva muokattu) (Stora Enso Oyj. 2015c)

Kuvassa 24 näkyvät savukaasupuhaltimet sijaitsevat rinnakkain KK2:n rakennuksen yläkerrassa.



Kuva 24. KK2:n savukaasupuhaltimet

Savukaasupuhaltimien sähkömoottorit ovat Siemensin valmistamia. Moottorit ovat suoraikäyttöisiä eli pyörintänopeus on vakio. Kattilan alipaineen säädössä käytetään juoksusiipisäätöä. Puhaltimien ja sähkömoottorien tekniset tiedot on lueteltu taulukossa 11.

Taulukko 11. Savukaasupuhaltimien ja moottorien tekniset tiedot

### Puhaltimet

Lukumäärä [kpl]	2
Säätötapa	Juoksusiipisäätö
Kapasiteetti [%]	2 x 70
Savukaasumäärä [NM <sup>3</sup> /s]	102,2
Käyttölämpötila [°C]	160
Painepuolen paine [Pa]	0
Imupuolen paine maksimi [Pa]	-3 500

### Siemens -moottorit

Nimellisteho [kW]	950
Nimellisvirta [A]	62
Jännite [kV]	10,5
Nimellistehokerroin cos $\phi$	0,87
Nimellinen hyötysuhde [ $\eta$ ]	0,97
Pyörintänopeus [1/min]	1 490

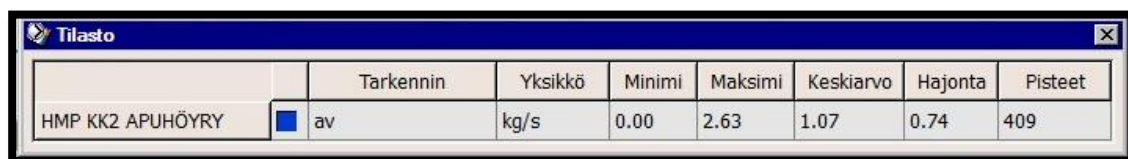
### 3 KOHTEIDEN TUTKIMUKSET

Kaikki kohteissa käytetyt laskennalliset arvot on esitetty liitteessä 2. Entalpia-arvot on saatu laskurilla. (CalcSteam.)

#### 3.1 Matalapainehöyryn omakäyttö

##### Höyryluvot

Höyryluvoihin menevää höyrymäärää pystytään tutkimaan "HMP KK2 apuhöyry" mittauksen avulla. Mittaustiedot on otettu MetsoDNA -automaatiojärjestelmästä. Leiju- ja sekundääri-ilmojen höyryluvoilla on yhteinen höyryn määrämittaus. Sekundääri-ilman höyryluvo pidetään ajossa jatkuvasti, kun taas leijuilman höyryluvoa vain tarvittaessa. Lauhteet palautuvat takaisin kiertoon.



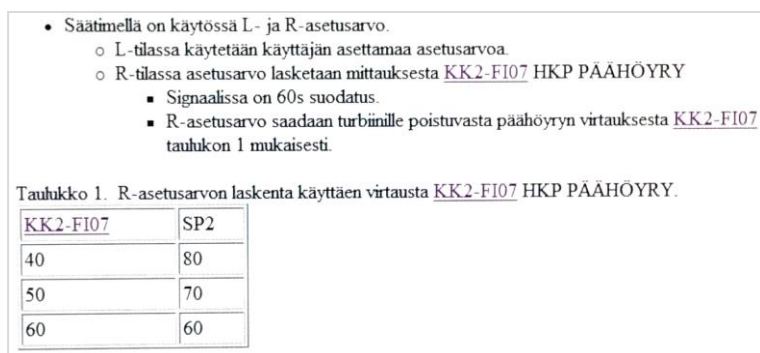
	Tarkennin	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta	Pisteet
HMP KK2 APUHÖYRY	av	kg/s	0.00	2.63	1.07	0.74	409

Kuva 25. Tilasto (Stora Enso Oyj. 2015c)

Ajanjaksolla 1.1.2014 - 1.1.2015 tulevaa sekundääri-ilmaa ja leijutusilmaa lämmitettiin HMP (0,5 MPa) -höyryllä keskimäärin määrällä 1,07 kg/s. Kuvassa 25 on MetsoDNA -järjestelmästä poimittu tilastotieto.

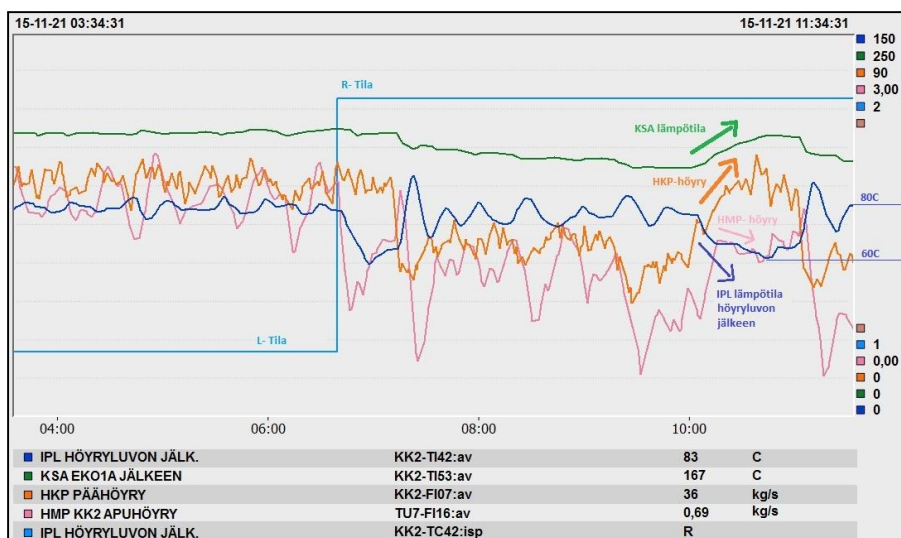
##### Sekundääri-ilman höyryluvo

Sekundääri-ilmapuhaltimen jälkeisen höyryluvon säätöpiirin toimiessa L-tilassa, säätää se ilman lämpötilaa asetusarvon mukaisesti. Tutkimushetkellä 20.11.2015 asetusarvo oli aseteltu 82 asteeseen. Tällöin säätöpiiri säätää säätöventtiilillä luvolle tulevan matalapainehöyryn määrää ilman lämpötilan mukaan. Säätöpiirin ollessa automaatilla ei säätö ota huomioon prosessissa tapahtuvia muutoksia. Säätöpiirissä on myös R-tila eli remote, jolloin puhaltimen jälkeisen ilman lämpötilaa säädetään kuorikattilan kuorman mukaisesti. Tätä ajotapaa ei kuitenkaan ole tässä tapauksessa käytetty, vaan säätönä on käytetty L-asetusarvoa.



Kuva 26. Höyryluvon lämpötila -säätöpiirin toimintakuvaukset. (Stora Enso Oyj. 2015c.)

Kuvassa 26 on esitetty R-asetusarvon toimintaparametrit, joilla säädin muuttaa puhaltimen ja höyryluvon jälkeisen ilman lämpötilaa huomioiden kattilan höyrykuorman.



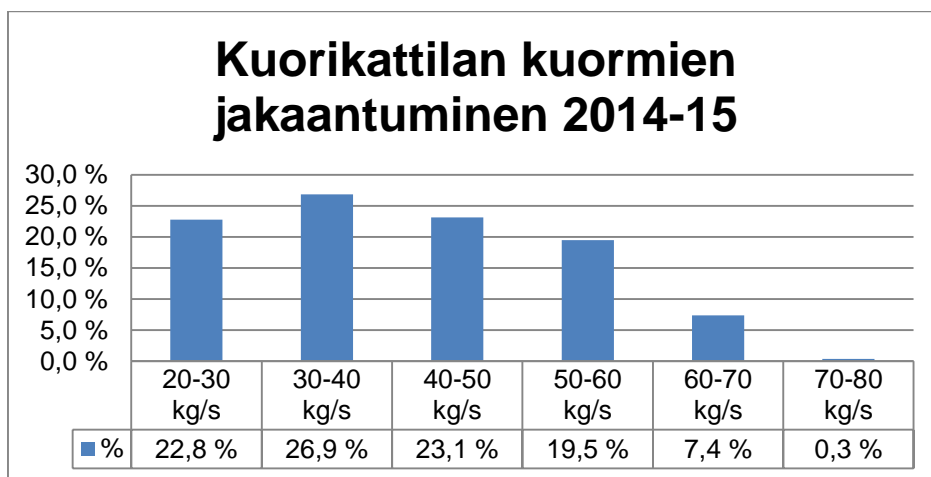
Kuva 27. Höyryluvon R-asetusarvo (kuva muokattu) (Stora Enso Oyj. 2015c)

Kuvassa 27 on esitetty R-asetusarvo ohjauksen vaikutus höyryluvon ohjaamiseen. Kattilan kuorman noustessa noin 60 kg/s alkaa höyryluvo tiputtamaan lämpöä säädön ohjaamana 60 asteeseen, näin höyryn käyttö vähenee suurilla kuormilla ja savukaasujen loppulämpötila putoaa. Pienellä kuormalla (alle 40 kg/s.) säätö palautuu ennalleen eli säätöpiiri ohjaa ilman lämpötilan 80 asteeseen. R -säädön toimiessa optimaalisesti oikeilla parametreilla, voitaisiin ma-

talapainehöyryn käyttö optimoida prosessin vaatimalle tasolle. Savukaasujen loppulämpötila putoaisi myös parantaen hyötysuhdetta.

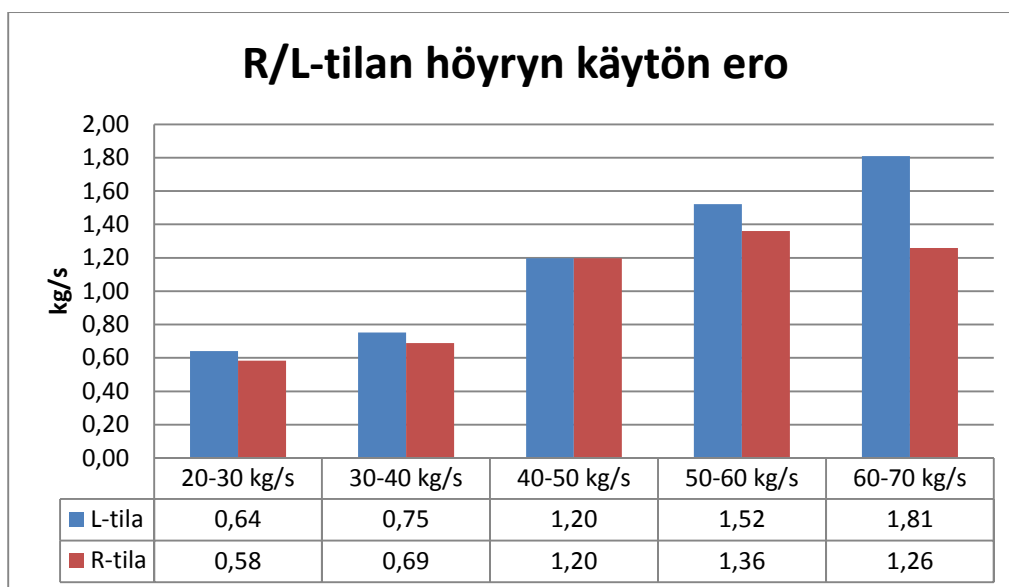
### Asetusarvon muutos

Matalapainehöyryn säästö on laskettu taulukossa 12, jos sekundääri-ilman höyryluvo olisi R-tilassa. Säästöä on tutkittu ajanjaksolla 22.11.2015 - 24.11.2015. R-säätö lähtee asteittain pudottamaan ilman lämpötilaa (80 → 60 °C) kuorman noustessa 40 kg/s → n. 79 kg/s.



Kuva 28. Kattilan kuormien jakaantuminen ajanjaksolla 15.11.14 - 15.11.2015

Kuvasta 28 voidaan todeta, että kattila on aikajaksolla (15.11.14 - 15.11.2015) ollut yli 40 kg/s kuormalla noin 50 % ajasta eli 4 250 tuntia. R-säätö lähtee asteittain pudottamaan palamisilman lämpötilaa (80 °C → 60 °C) kuorman noustessa (40 kg/s → n. 79 kg/s). Höyryluvon asetusarvon muuttamisen hyöty höyryn säästössä on näytetty arviolta aikajakson (15.11.14 - 15.11.2015) pohjalta vuositasolla taulukossa 12. Kuvassa 29 on esitetty L-tilan matalapainehöyryn käyttö sinisellä ja R-tilan punaisella.



Kuva 29. R-tilan ja L-tilan ero höyryn kulutuksessa kuormalla 20 - 70 kg/s

Asetusarvon muuttaminen L-tilasta R-tilaan saadaan vuositasolla (8 500 h) höyrynsäästöä noin 3124 tonnia. R-tilan höyryn käyttöä tehty lyhyen ajan tutkinnalla, joten säästöarvio taulukossa 12 on suuntaa antava.

Taulukko 12. R- ja L-tilan ero höyryn käytössä arviolta vuodessa (8 500h)

Kuorma [kg/s]	Aika [h]	L-tila [kg/s]	R-tila [kg/s]	L-tila [t/a]	R-tila [t/a]
20-30	1 906	0,64	0,58	4 394	4 004
30-40	2 282	0,75	0,69	6 175	5654
40-50	1 981	1,20	1,20	8 541	8541
50-60	1 671	1,52	1,36	9 149	8181
60-70	631	1,81	1,26	4 111	2860
<b>Yht. t/a</b>				<b>32 369 t</b>	<b>29 245 t</b>

Taulukossa 13 on käytetty hintana HMP-höyrylle on käytetty 19,8 e / MWh. (Varis, 2015). Matalapainehöyryn lämpötila 181 °C ja paine 0,52 MPa. Matalapainehöyryn entalpia 2777 kJ/kg. Poistuvan lauhteen lämpötila on 114 °C ja lauhteen entalpia 478 kJ/kg. Höyryluvoihin menevä lämpöteho lasketaan kaavalla 1.

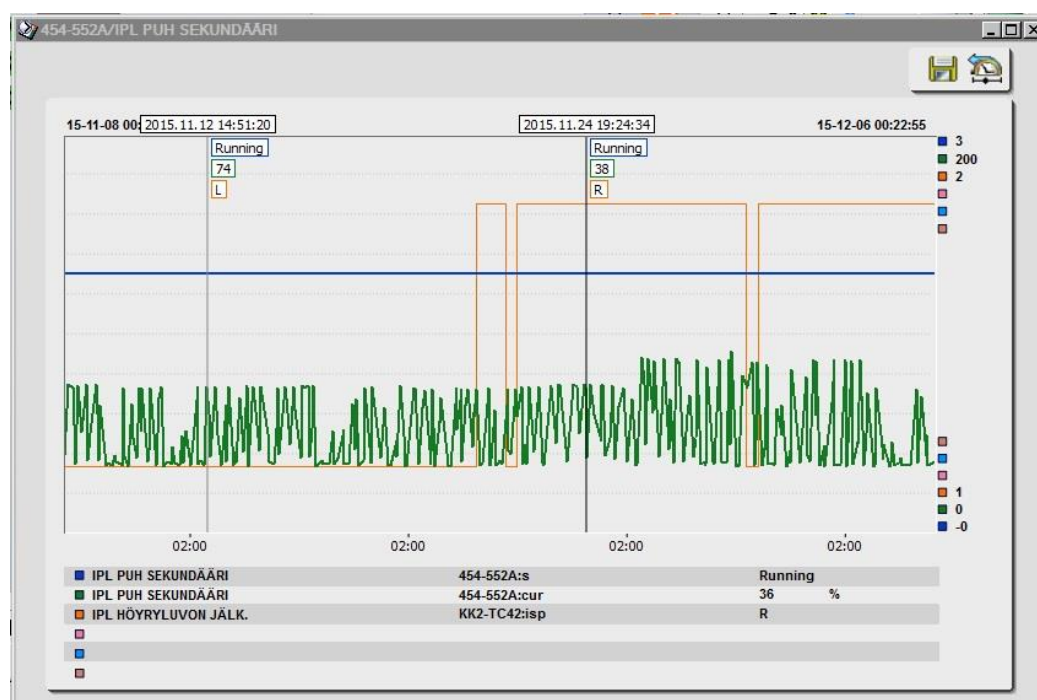


Taulukko 13. Säästöarvio L-tilan muutoksesta R-tilaan

Säästöarvio	L-tila	R-tila
Määrä [t]	32 369	29 245
HMP-virtaus [kg/s]	1,06	0,95
Lämpöteho [MW]	2,46	2,2
Kulutus [MWh/a]	20911	18678
Säästö [MWh/a]	0	- 2233
Säästö arvio [Me]		0,044

Säästöarvio vuositasolla on noin 2233 MWh ja arvona noin 0,044 Me.

R-tilan käyttö voi pidemmällä aikajaksolla aiheuttaa prosessissa muutoksia, joten tässä tilassa on seurattava säädön toimintaa. Kuvassa 30 Ilman lämpötilan vaihtelut näyttävät aiheuttavan sekundääri-ilmapuhaltimen kuormituksessa muutoksia. Tämän lisäksi tulistimien lämpötilan mittausta KK2-TI18 HKP RUISK.1 JÄLK. O. näyttäisi käyvän hälytysrajalla pienellä kuormalla.



Kuva 30. Sekundääripuhaltimen kuorma ja asetusarvo.

## Leijuilman höyryluvo

Leijuilmapuhaltimen höyryluvo on säädetty L-tilassa ohjaamaan puhaltimen jälkeisen ilman lämpötilaa. Asetusarvo on säädetty 85 asteeseen. Höyryn säästöä ajatellen, ilman lämpötilansäätö voisi ottaa mittaustiedon kattilan



kuormasta. Oikein optimoidun R-säätön mahdollisuus vähentäisi höyryn käyttö suuremmilla kuormilla. Suurilla kattilan kuormilla savukaasujen lämpötila on korkeampi, tällöin pystyttäisiin hyödyntämään savukaasujen lämpöä enemmän ilman lämmittämiseen prosessin sallimissa rajoissa. Kastepisteen vaaran mahdollisuus on otettava huomioon. Vaatii lisäselvitystä.

### 3.2 Korkeapainehöyryn omakäyttö

KK2:lla ei suoriteta jatkuvaa nuohousta, vaan toimenpide suoritetaan ajastettuna kolme kertaa vuorokaudessa. Nuohoukset suoritetaan aamulla kello 6.15, iltapäivällä 14.15 ja yöllä 22.15. Aamulla ja iltapäivällä on ajotapana pitkä nuohous, eli nuohotaan kaikilla nuohoimilla. Vastaavasti yöllä suoritetaan lyhyt nuohous, jolloin kymmenen ensimmäistä nuohointia ohitetaan.

Käyttöjaksolla 8 500 h nuohous on keskimäärin päällä 1 771 tuntia. Päälläoloaika laskettiin niin, että pitkä nuohous kestää keskimäärin kaksi tuntia ja lyhyt nuohous noin tunnin. Tämä tekee vuorokaudessa nuohouksen kestoksi noin viisi tuntia. Käytetty höyrymäärä keskimäärin yhden nuohousjakson aikana oli noin 1,5 kg/s. Keskimääräinen höyrymäärä tutkittiin MetsoDNA -järjestelmästä.

Nuohoukseen käytetään korkeapainehöyryä, jonka paine on noin 8,6 MPa ja lämpötila 430 °C. Höyry nuohoukseen otetaan primääritulistimen jälkeen. Korkeapaineinen nuohoushöyry alennetaan paineenalennusventtiilillä asetusarvoisesti noin 2,5 MPa. Paineenalennusventtiililtä höyry johdetaan nuohoimille. Nuohoushöyryn lämpötila on noin 100°C astetta korkeampi kuin vastaavan kylläisen höyryn lämpötila. (Huhtinen ym. 2000, 216.) Nuohousautomaatiikka ohjaa nuohousta niin, että ensimmäiseksi linjat lämmitetään putkiston läpi ulospuhallussäiliöön. Putkiston saavuttaessa tavoitelämpötilan käynnistyy nuohous määritellyn ohjelman mukaisesti.

Kustannuslaskelmissa käytetään kuoren kustannuksena arvoa 14 e/MWh ja lisäveden kustannuksena 2,3 e/m<sup>3</sup>. (Varis 2015.) Nuohoukseen käytetty energia voidaan laskea seuraavasti. Kattilan hyötysuhteena käytetään puujätteen poltolla 84,6 % (2014). Tuotettuun höyryyn sitoutunut lämpöteho lasketaan kaavalla 1.

$$1,5 \text{ kg/s} (3\,211 \text{ kJ/kg} - 497 \text{ kJ/kg}) = 4,07 \text{ MW} \quad (1)$$

Käytetty energia nuohoukseen käyttötunneilla 1 771 h:

$$4,07 \text{ MW} \cdot 1\,771 \text{ h} \approx 7\,208,0 \text{ MWh}$$

Nuohoukseen käytetyn kuoren sisältämä energia käyttötunneilla (1 771 h) hyötysuhteella 84,6 % on tällöin,

$$7\,208,0 \text{ MWh} / 0,846 = 8\,520,1 \text{ MWh} = 30,67 \text{ TJ}$$

Nuohoukseen menevä kuorikustannus on käyttötunneilla 1 771 h

$$14 \text{ e} / \text{MWh} \cdot 8\,520,1 \text{ MWh} = 119\,281,4 \text{ e} \approx 0,12 \text{ Me}$$

Nuohoukseen tuotettu lisäveden määrä ja kustannus voidaan laskea käyttötunneille 1 771 h. Tunnissa tarvitaan lisävettä nuohoukseen.

$$1,5 \text{ kg/s} \cdot 3\,600 \text{ s/h} = 5\,400 \text{ kg/h} = 5,4 \text{ t/h}$$

Vuodessa ajettu lisäveden määrä nuohoukseen käyttöaikana 1 771 h

$$5,4 \text{ t/h} \cdot 1\,771 \text{ h} = 9\,563,4 \text{ t} = 9\,563,4 \text{ m}^3$$

Kustannukset tuotetulle lisävedelle (9 563,4 m<sup>3</sup>)

$$2,3 \text{ e/m}^3 \cdot 9\,563,4 \text{ m}^3 = 21\,995,8 \text{ e} \approx 0,022 \text{ Me}$$

Taulukossa 14 on esitetty yhteenveto nuohoukseen käytetystä energiasta ja sen kustannuksista.

Taulukko 14. Nuohouksen energiankäyttö

<b>Nuohous</b>	
Käytetty kuoren energia [MWh]	8 520
Kuorikustannukset vuositasolla [Me]	0,12
Tuotettu lisäveden määrä [m <sup>3</sup> ]	9 563
Lisäveden kustannukset [Me]	0,022

Nuohous käyttää prosessissaan 8 500 MWh kuorta arvon ollessa noin 0,12 Me. Lisävettä kuluu noin 9 500 m<sup>3</sup>, jonka kustannus on noin 0,022Me vuoden käyttöjaksolla.

### 3.3 Jatkuva ulospuhallus

#### **Jatkuva ulospuhallus**

Vuonna 2014 jatkuvaan ulospuhallukseen ajettiin keskimäärin 0,48 kg/s (kuva 5) paineistettua vettä, laskuissa lämpötilana on käytetty 300 astetta. Jup-säiliöön tulevaan kattilaveteen käytetty energia lasketaan polttoainekustannuksena. Laskennassa käytetään kattilan käyntiaikana 8 500 tuntia. Hinta kuorelle on 14 e / MWh. Kattilan hyötysuhde kuoripoltolla oli 84,6 % (2014). Laskennassa ei oteta huomioon prosessiin palautuvaa energiaa. Jup-säiliöön menevän ulospuhallusveden lämpöteho lasketaan kaavalla 3.

$$0,48 \text{ kg/s} \cdot (1\,344 \text{ kJ/kg} - 497 \text{ kJ/kg}) \approx 0,407 \text{ MW} \quad (3)$$

Kulutettu energia käyttötunneilla 8 500 h

$$0,407 \text{ MW} \cdot 8\,500 \text{ h} \approx 3\,455,8 \text{ MWh}$$

Jatkuvaan ulospuhallukseen käytetyn kuoren sisältämä energia käyttötunneilla (8 500 h) hyötysuhteella 84,6 % on tällöin,

$$3\,455,8 \text{ MWh} / 0,846 = 4\,084,9 \text{ MWh} = 14,72 \text{ TJ}$$

Jatkuvaan ulospuhallukseen menevän veden energian kulutus kuorikustannuksina on

$$14 \text{ e/MWh} \cdot 4\,084,9 \text{ MWh} = 57\,188,2 \text{ e} \approx 0,06 \text{ Me}$$

Jatkuvaan ulospuhallukseen käytettiin vuonna 2014 noin 0,06 Me arvosta kuorta.

Jatkuvaan ulospuhallukseen menevän lisäveden määrä laskettaessa, ei oteta huomioon jup-säiliöstä syöttövesisäiliöön palautuvaa höyryn sekä veden mää-

rää tarvittavan tiedon puuttuessa. Jatkuvaan ulospuhallukseen ajettiin vuonna 2014 keskimäärin 0,48 kg/s paineistettua vettä. Tunnissa ajettu määrä on:

$$0,48 \text{ kg/s} \cdot 3\,600 \text{ s/h} = 1\,728 \text{ kg/h} = 1,728 \text{ t/h}$$

KK2:n käyttöjaksolla (8 500 h) ulospuhallukseen ajetaan paineistettua vettä

$$1,728 \text{ t/h} \cdot 8\,500 \text{ h} = 14\,688 \text{ t} = 14\,688 \text{ m}^3$$

Lisäveden kustannus on 2,3 e/m<sup>3</sup>, tämä sisältää lämmityksen (noin 90 astetta), kemikaalit ja sähkönkulutuksen (Varis 2015). Lisäveden valmistus tulee kustantamaan käyttöjaksolla (8 500 h):

$$14\,688 \text{ m}^3 \cdot 2,3 \text{ e/m}^3 = 33\,782,4 \text{ e} = 0,034 \text{ Me}$$

Lisävettä valmistetaan noin 14 688 m<sup>3</sup> ja kustannus lisävedelle on noin 0,034 Me. Taulukossa 15 on yhteenveto jatkuvan ulospuhalluksen energian käytöstä ja sen kustannuksista.

Taulukko 15. Jatkuvan ulospuhalluksen menevä energia ja sen kustannukset

<b>Jatkuva ulospuhallus</b>	
Käytetty kuoren energia [MWh]	4 085
Kuorikustannukset vuositasolla [Me]	0,06
Tuotettu lisäveden määrä [m <sup>3</sup> ]	14 688
Lisäveden kustannukset [Me]	0,034

### **Jatkuvan ulospuhalluksen hyödyntäminen nuohouksessa**

Jatkuvaa ulospuhallukseen menevää energiaa hyödynnetään jo nykyisessä prosessissa lisäveden lämmityksessä. Kuitenkin eräässä innovaatiossa jatkuvaa ulospuhallusta pystytään hyödyntämään nuohouksessa. Jatkuva ulospuhallus ohjataan uuteen ulospuhallussäiliöön, josta se edelleen ohjataan nuohoukseen. Nuohouskäytössä jatkuvan ulospuhalluksen epäpuhtaudet puhalletaan kattilan tulipesään, jolloin epäpuhtaudet saadaan poistettua kierrosta. (Kilkki & Hakala 2010, 4.) Hyödynnettäessä jatkuvaa ulospuhallusta nuohouksessa säästettäisiin korkeapaineisen nuohoushöyryn määrässä. Mikä vastaa-vasti vähentää polttoaineen tarvetta ja tuotettavan lisäveden määrää.

Säästö voidaan laskea teoreettisella tasolla. Soodakattiloilla on käytössä jatkuvatoiminen nuohous, jos tämä jatkuva ulospuhallus kyettäisiin hyödyntämään kokonaisuudessaan soodakattilassa, voitaisiin soodakattilalla tuottaa enemmän korkeapaineista höyryä laitoksen käyttöön. Tämä määrä on vastavasti pois kuorikattilan tuottaman höyryn tarpeesta. Säästö syntyisi kuoren polton tarpeen ja lisäveden valmistuksen pienentymisenä.

Soodakattilan nuohoushöyryn lämpötila on noin 250 °C, (Hirvonen 2015.) virtaus keskimäärin 6,7 kg/s ja paine 3,9 MPa. Lämpöteho on laskettu kaavalla.

(9)

$$\Phi = q_{m1} \cdot h_1 \quad (9)$$

jossa  $q_{m1}$  = nuohoushöyryn massavirta [kg/s]

$h_1$  = nuohoushöyryn entalpia [kJ/kg]

Soodakattilan nuohoushöyryn lämpötehoksi saadaan tällöin

$$6,7 \text{ kg/s} \cdot 2806 \text{ kJ/kg} = 18\,800,2 \text{ kW} \quad (9)$$

Soodakattilalta tulevan korkeapainehöyryn lämpötila on 356 °C ja paine 8,8 MPa. Jatkuvan ulospuhalluksen lämpötila on noin 300 °C ja paine 8,6 MPa. Laskussa oletetaan, että jatkuvaan ulospuhallukseen menevä 0,48 kg/s ajettaisiin soodakattilan nuohoukseen, jolloin voitaisiin soodakattilalla tuottaa 0,48 kg/s enemmän korkeapaineista höyryä. Jatkuvan ulospuhalluksen ja korkeapainehöyryn kokonaislämpöteho voidaan laskea sovelletusti kaavalla 9.

$$0,48 \text{ kg/s} \cdot 1345 \text{ kJ/kg} + 6,22 \text{ kg/s} \cdot 2984,6 \text{ kJ/kg} = 19\,209,8 \text{ kW}$$

Kuorikattilalla tuotetun korkeapainehöyryn teho voidaan laskea kaavalla 1.

$$0,48 \text{ kg/s} \cdot (3\,211 \text{ kJ/kg} - 497 \text{ kJ/kg}) = 1\,302,7 \text{ kW} = 1,3 \text{ MW} \quad (1)$$

Vuodessa säästetään korkeapainehöyryn tuotossa kuorikattilalla:

$$1,3 \text{ MW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 11\,073 \text{ MWh}$$

Kuorta tarvitaan korkeapainehöyryn tuottoon tällöin:

$$11\,073 \text{ MWh} / 0,84 = 13\,182 \text{ MWh}$$

Kuoressa säästetään tällöin:

$$13\,182 \text{ MWh} \cdot 14 \text{ e/MWh} = 184\,550 \text{ e}$$

Lisäveden tuotto vähentyy:

$$(0,48 \text{ kg/s} \cdot 3\,600 \text{ s/h}) \cdot 8\,500 \text{ h} = 14\,688 \text{ t} = 14\,688 \text{ m}^3$$

Säästetyn lisäveden arvo:

$$2,3 \text{ e/m}^3 \cdot 14\,688 \text{ m}^3 = 33\,782 \text{ e}$$

Säästöt ovat yhteensä vuodessa:

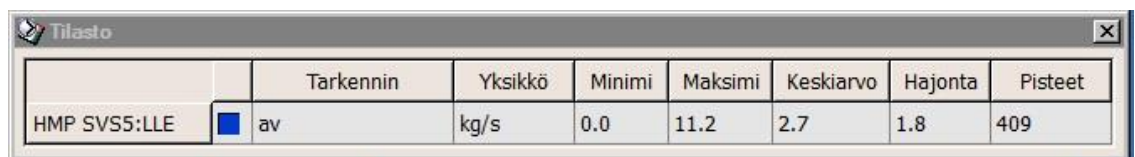
$$184\,550 \text{ e} + 33\,782 \text{ e} = 218\,332 \text{ e} \approx 0,22 \text{ Me}$$

Säästöä syntyisi 0,22 Me vuositasolla. Tämän säästön arvioiminen vaatisi tarkempia tietoja uudesta innovaatiosta. Tällöin säästön määrä voi muuttua oleellisesti. Laskussa on oletettu, että innovaatiossa hyödynnetään kaikki ulospuhallukseen menevä kattilavesi nuohouksessa ja näin tuotetaan enemmän korkeapainehöyryä soodakattilalla tehtaan käyttöön. Lämpötehoista voidaan todeta, että toteutus on mahdollinen.

### 3.4 Lämmöntalteenotto ja syöttövesisäiliö

#### Syöttövesisäiliön lämmitys ja kaasunpoisto

Syöttövesisäiliön lämmittämiseen käytetään matalapaine- ja CTMP-höyryä. Kuvassa 31 on esitetty käytetyn matalapainehöyryn (HMP) käyttö syöttöveden lämmittämiseen ajanjaksolla 01.01.14 - 01.01.15. Keskimäärin matalapainehöyryä ajettiin säiliöön 2,7 kg/s.



	Tarkennin	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Hajonta	Pisteet
HMP SVS5:LLE	av	kg/s	0.0	11.2	2.7	1.8	409

Kuva 31. Syöttöveden lämmittämiseen menevän matalapainehöyryn määrä. (Stora Enso Oyj. 2015c)

Syöttövesisäiliön kaasunpoistimesta poistetaan jatkuvasti pieni määrä höyryä. Hönkälauhduttimessa pääosa höyrystä lauhtuu ja luovuttaa lämpöä tulevaan lisäveteen. Tarvittava hönkähöyrymäärä säädetään kokeellisesti koekäytön aikana kaasunpoistosta poistuvan veden jäännöshappipitoisuuden ja hönkähöyryn lämpötilan perusteella. Poistuvaa lämpöenergiaa ei voida tulkita mitaustietojen puuttuessa.

### **Lämmöntalteenotto lisäveteen**

Liejujäähdyttimellä ja hönkälauhduttimella pystytään osa lämpöenergiasta hyödyntämään tulevaan lisäveteen. Tutkittaessa lämmönvaihtimien tehoja erotettiin hönkälauhdutin prosessista ja tällöin voitiin laskea liejujäähdyttimen keskimääräinen teho ABB Vtrin-järjestelmän tietojen perusteella. Hönkälauhduttimen teho saatiin vähentämällä liejujäähdyttimen teho. Jatkuvaan ulospuhallussäiliöön tuleva virtaus oli tutkimushetkellä yhteensä noin 0,5 kg/s. Tällöin ajossa oli lisäksi kaasukattila K12, josta tulee linja KK2:n jup-säiliöön. Tutkimus suoritettiin 23.11.2015.

Kun hönkälauhdutin erotettiin prosessista, saatiin seuraavia arvoja. Tulevan lisäveden lämpötila oli mittaushetkellä keskimäärin 74,6 °C ja liejujäähdyttimen jälkeen keskiarvona 75,4 °C. Lisäveden virtaus tuolloin keskimäärin oli 59,3 kg/s. Lämpötilan muutos oli noin 0,78 °C. Liejujäähdyttimen teho lisäveden lämmityksessä tarkastelujaksolla:

$$59,3 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 0,78 \text{ }^\circ\text{C} = 193,3 \text{ kW} \approx 0,193 \text{ MW}$$

Lisäksi tutkittiin liejujäähdyttimen teho jup-säiliön pinnansäätöventtiilin ollessa 100 % auki. Lisäveden virtaus mittaushetkellä keskimäärin oli 58,6 kg/s. Tällöin tehoksi saatiin

$$58,6 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 1,9 \text{ }^\circ\text{C} = 465,4 \text{ kW} \approx 0,465 \text{ MW}$$

Hönkälauhduttimen teho laskettiin vähentämällä liejujäähdyttimen tehoksi saatu arvo. Mittaushetkellä hönkä ajettiin kaasunpoistimelta hönkälauhduttimen kautta. Hönkälauhduttimen päällä oleva höngänpoistoventtiili katolle oli keltaisella merkityssä kohdassa.

Mittaustulokseksi saatiin seuraavia arvoja; lisäveden lämpötila ennen hönkälauhdutinta oli keskimäärin 76,4 °C ja lämmönvaihtimen jälkeen keskiarvoisesti 82 °C. Lisäveden virtaus tällä hetkellä oli keskimäärin 56 kg/s. Lämpötilan muutos oli keskimäärin 5,6 °C. Hönkälauhduttimen ja liejujäähdyttimen yhteistehoksi mittaustilanteessa saatiin

$$56 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 5,6 \text{ }^\circ\text{C} = 1310,8 \text{ kW} \approx 1,311 \text{ MW}$$

Liejujäähdyttimen lämpöteho vähentämällä saadaan hönkälauhduttimen teho seuraavasti:

$$1,311 \text{ MW} - 0,193 \text{ MW} = 1,12 \text{ MW}$$

Taulukossa 16 on esitetty yhteenveto lämmöntalteenotosta mittaushetkellä (23.11.2015).

Taulukko 16. Lämmönvaihtimien tehot mittaushetkellä 23.11.2015

<b>Lämmönvaihtimien tehot</b>	
Hönkälauhduttimen teho [MW]	1,12
Liejujäähdyttimen teho [MW]	0,193
Yhteensä [MW]	1,313

### 3.5 Tuhkalähetykset

#### **Tuhkalähetykset**

Laitoksella suoritetaan jatkuvaa lentotuhkanpoistoa pneumaattisilla lähetyksillä. Kaikki lentotuhkat ajetaan yhteen siiloon. Taulukossa 17 on esitetty tutkimushetkellä (3.11.2015) olevat lähetyksen tauko- ja puhallusajat.



Taulukko 17. Tuhkalähetysten tauko- ja puhallusajat

Lähetys	Tauko (min)	Puhallusaika (s)
Luvo	60	60
Eko	44,9	50
SS1A	60	60
SS1B	30	60
SS1C	60	60
SS2A	60	80,7
SS2B	60	60
SS2C	40,4 -> 60	60

Työtä tehdessä huomattiin, että SS2C tauko-aika oli aseteltu 40,4 minuuttiin. Tauko-aika on tässä tapauksessa turhan lyhyt. Taukoajan muutokselle ei ollut estettä, joten arvo muutettiin 60 minuuttiin. Ekojen tuhkälähetystä on jo prosessissa säädetty enemmän tarpeita vastaavaksi.

Lähetysten painetta lähetysputkistossa seuraa painekeytkin. Painekeytkimellä varmistetaan, että putki on mennyt tyhjäksi. Tuhkalähetys puhallaa määritellyn puhallusajan ja jatkaa puhallusta, jos painekeytkimeltä ei tule lupaa lopettaa puhallusta. Tämän jälkeen puhallus jatkuu määritellyn ajan. Aikarajan täytyessä valvomoon tulee hälytys mahdollisesta tukoksesta.

SS1A ja SS2A lähettävät lähes aina pintakytkintiedon perusteella. SS2A lähetysaika on nostettu 80,7 sekuntiin, suuremman tuhkamäärän takia. Käyttötunteja vuositasolla ei tutkittu näille lähetyksille tässä työssä.

Taulukossa 18 on laskettu lähetysten kesto kattilan käyntiaikana (8 500 h) nykyisillä asetuksilla. Laskuissa on oletettu, että lähetystyksiä ei tapahdu pintatiedon perusteella, jolloin lähetysten määrä olisi suurempi. Tutkituissa tuhkälähetyksissä lähetys on tapahtunut pääsääntöisesti ajan ohjaamana. Puhallusajat on laskettu kaavalla 10.

$$( \text{Kattilan käyntiaika (h)} / \text{tauko-aika (h)} ) \cdot \text{Puhallusaika (h)} \quad (10)$$

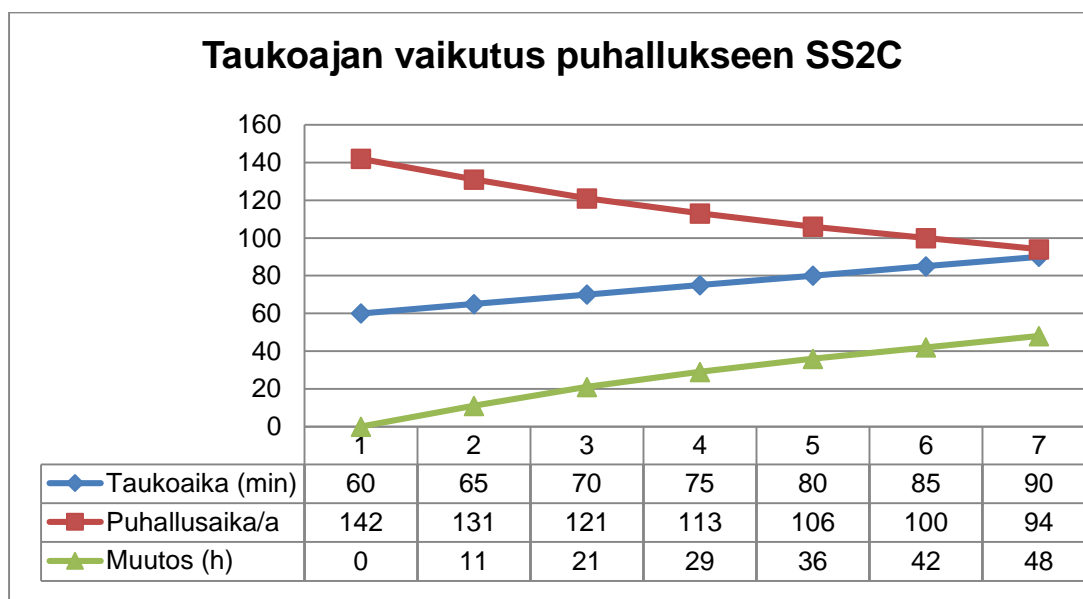
Taulukko 18. Tuhkalähetysten kesto vuositasolla

Kohde	Tauko (min)	Puhallusaika (s)	Puhallusaika vuodessa (h)
Luvo	60	60	141,7
Eko	44,9	50	157,8
SS1B	30	60	283,3
SS1C	60	60	141,7
SS2B	60	60	141,7
SS2C	60	60	141,7

Vuodessa puhallusta [h]

1008

Taukoajojen määrittämisellä tarvetta vastaavaksi vähentyisi paineilmankäyttö vuositasolla huomioitavasti. Tuhkalähetysten taukoajaa on tutkimushetkellä skaalattu 5 - 60 minuuttiin. Muun muassa C-tuhkalähettimissä myös 60 minuutin taukoajan nostoa voisi kokeilla skaalausta muuttamalla. Jos skaalausta nostettaisiin 5 minuutilla, esimerkiksi tuhkälähetyksessä SS2C muuttuisi puhallusaika kuvan 32 esittämällä tavalla. Muutoksessa on oletettu, että lähetys tapahtuisi vain ajan ohjaamana. Muussa tapauksessa lähetys toimisi pintakytimen ohjaamana ja taukoajaa varmistaisi tuhkanpoiston. Punainen viiva kuvaa puhallusta vuodessa eri taukoajoilla. Vihreä viiva osoittaa puhallusajan vähennyksen vuodessa. Sininen viiva kuvaa taukoajaa.

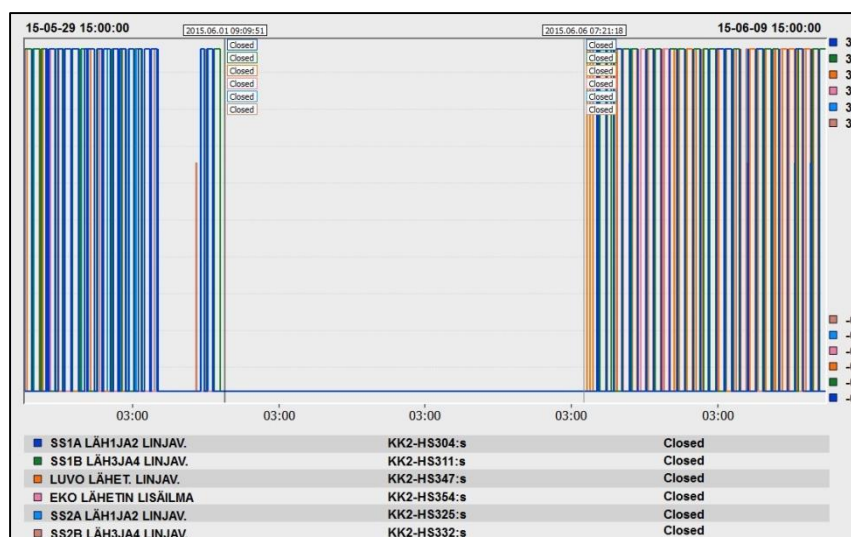


Kuva 32. Taukoajan muutos 5 minuuttia. Puhallusaika lähetyksessä 60 sekuntia.

Tarkemmat mittaustiedot prosessin paineilman kulutuksesta antaisivat kokonaisvaltaisen käsityksen tuhkalähetysten energiankäytöstä. Mittaustietojen puuttuessa voi energian tuhlausta tapahtua, kun halutaan varmistaa vain lähetysten toiminta. Tuhkalähetysten puhalluksen ja tauon tarve täytyisi selvittää jokaisen kohdalla erikseen, jotta voitaisiin välttyä mahdollisilta tukoksilta.

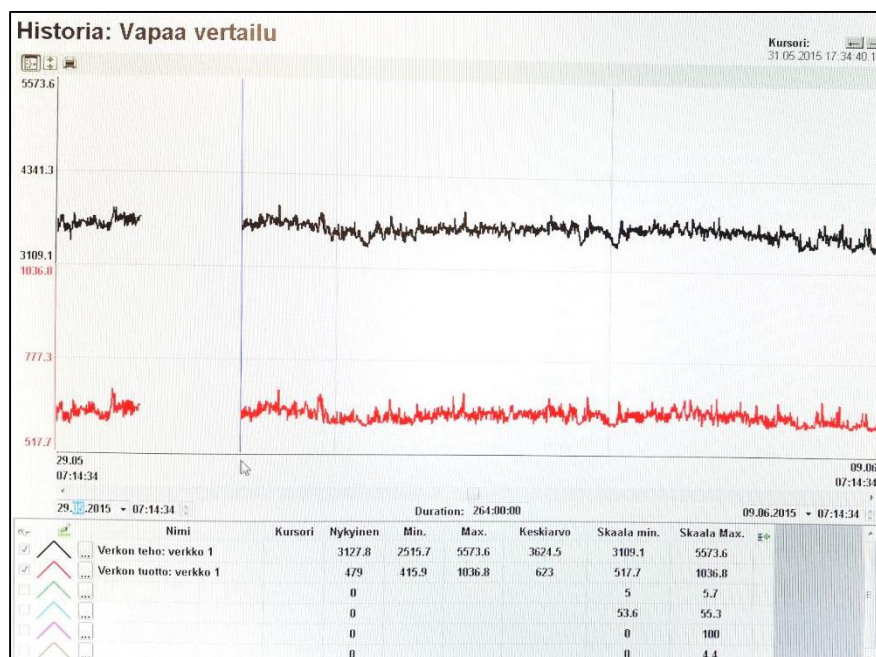
### KK2:n vaikutus paineilmaverkkoon

KK2:n vaikutusta koko paineilmaverkkoon tutkittiin tehtaan paineilmaverkon seurantajärjestelmän historiatiedoista ja automaatiojärjestelmä Metso DNA:n historiatiedoista. Paineilmaverkon muutosta verrattiin tilanteeseen, jossa KK2 oli alhaalla ja tuhkalähetykset kytketty pois käytöstä.



Kuva 33. KK2:n tuhkalähetysten käyntitietohistoria ajanjaksolla 29.5–9.6.15 (Stora Enso Oyj. 2015c)

Kuvassa 33 on esitetty ajanjakso, jolloin lähetykset ovat olleet poissa käytöstä. Lähetykset ovat olleet poissa käytöstä noin 1.6.–6.6.2015 välisenä aikana. Tällöin tuhkalähetykset ovat olleet seis ja kattila alhaalla.



Kuva 34. Tehtaan paineilmaverkon historiatrendi ajalta 29.05–9.06.2015 (Pulkkinen 2015)

Kuvassa 34 on esitetty trendi tehtaan paineilmaverkon muutoksista. Ajanjakso on 29.05–9.06.2015. Musta trendi kuvaa verkon tehoa (kW) ja punainen verkon tuottoa (m³/min). Tyhjä kohta trendissä johtuu paineilman ohjausjärjestelmän alhaalla olost 30.5–31.5.2015 välisenä aikana. Trendistä voidaan todeta, että KK2:lla ei näy olevan merkittävää vaikutusta mittaushetkellä paineilma-verkon toimintaan. Tarkempi tutkimus vaatisi vielä selvitystä muun muassa konelinjojen katkoksista. (Pulkkinen 2015.)

### 3.6 Sähkönkulutus

Laitoksella tutkittiin suurimpien kulutuskohteiden kuten savukaasupuhaltimien, leijuilmapuhaltimen, sekundääri-ilmapuhaltimen, sekä syöttö- ja ruiskutusvesipumppujen kuluttamaa sähkön määrää. Lisäksi tutkittiin kuorensiirtoon tarvittavan laitteiston sähkön käyttö. Sähkönkulutusta mitattiin ajanjaksolla 7.8–17.9.2015. Liitteessä 6 on esitetty kaikkien laitteiden mittaustulokset kentältä ja verrattu järjestelmän tietoihin.

Mittaustiedot perustuvat ABB:n Vtrin-järjestelmän historiatietoihin. Ajanjaksolle muuttujaksi valittiin KK2:n tuottama korkeapaineisen höyryn määrä (HKP). Korkeapainehöyryn määrän vaihtelu ajanjaksolla oli 12,7 kg/s - 76,6 kg/s. Keskiarvoisesti höyryn tuotto oli 37,4 kg/s. Kuorikattilan minimi höyryn tuotto

jatkuvalla kuormalla on noin 20 kg/s, voidaan olettaa 12,7 kg/s on hetkellinen piikki tai mittaushäiriö. Taulukoihin merkitään minimikuormaksi 20 kg/s.

Ruiskutusvesipumpulle muuttujaksi valittiin jäähdytysveden virtaus turbiini 7 jälkeisen höyryn jäähdytykseen.

Mitattavien laitteiden virtatiedot olivat järjestelmässä kuormitusprosentteina nimellisvirrasta, tästä tiedosta laskettiin tehot. Tehosta laskettiin myös vuotuisen käyttöjakson sähkönkulutus, käyttöjakso vuodessa on 8 500h. Sähkölaskuissa on oletettu, että laitos on ajossa koko käyttöjakson ajan.

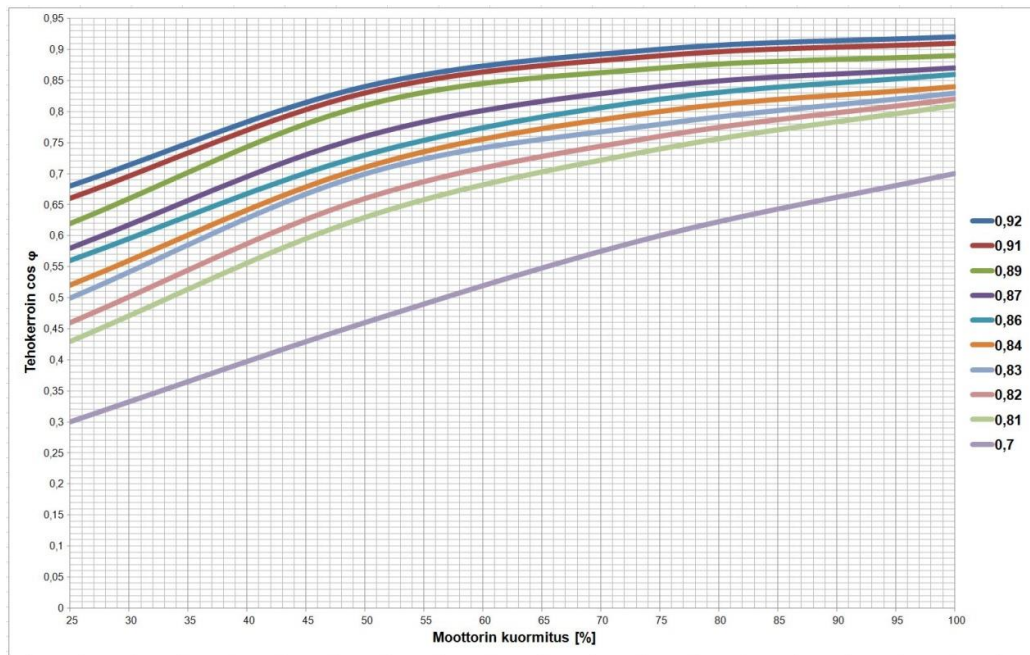
Sähkönkulutusta selvitettiin järjestelmästä tutkimalla moottoreiden kuormitusta eri kuormitustilanteissa. Taulukkoon 19 on kerätty moottorien tekniset tiedot pumpuista ja puhaltimista. Taulukossa 19 esitetyjä arvoja käytetään sähkönkulutuslaskuissa. Liitteessä 3 on esitetty kuormitusprosenttien jakautuminen pumppujen ja puhaltimien käyntiaikana.

Taulukko 19. Pumppujen ja puhaltimien moottorien tiedot

Laite	Jännite [V]	Nimellis-virta [A]	Nimellis-teho [kW]	Nimellis-tehokerroin
Syöttövesipumput	10 500	118	1 800	0,87
Ruiskutusvesipumput	690	295	315	0,92
Leijuilmapuhallin	10 500	62	950	0,87
Sekundääripuhallin	690	650	630	0,89
Savukaasupuhaltimet	10 500	62	950	0,87

Moottorien käyttämien tehojen laskuissa on huomioitu osakuormilla tapahtuva tehokertoimen lasku. Liitteenä 1 olevasta taulukosta saadaan ABB:n moottoreille suuntaa-antavat tehokertoimet. (ABB 2014, 64.) Liitteen 1 tietojen pohjalta on kuvassa 35 esitetty kuvaaja tehokertoimen muutoksessa suhteessa moottorin kuormaan.

Kuvasta 35 voidaan todeta, että tehokerroin alkaa pudota jyrkemmin moottorin kuormituksen pudotessa alle 50 %. Kuorman pudotessa myös laskujen epävarmuus kasvaa pienillä kuormilla ilman tarkkoja tietoja tehokertoimen muutoksesta. Sekundääri-ilmapuhaltimen, savukaasupuhaltimien ja syöttövesipumpun pienen kuorman tehoja ei laskettu tehokertoimen tarkan muutostiedon puuttuessa.

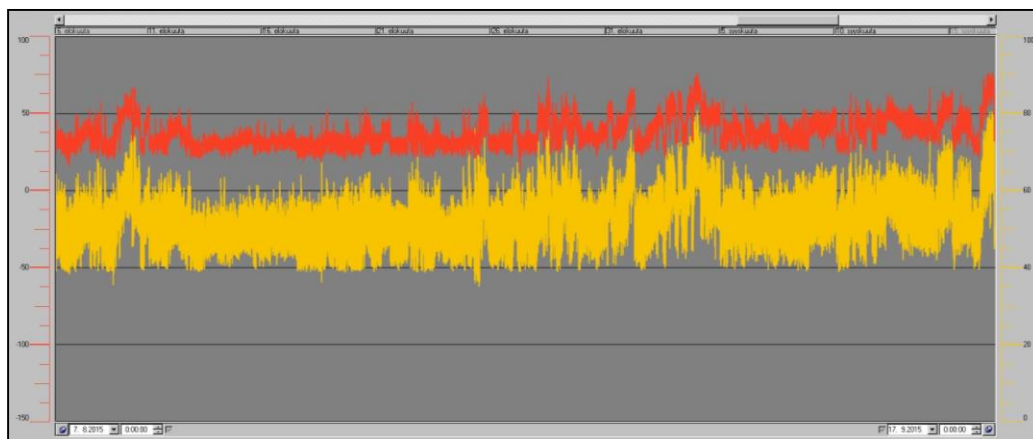


Kuva 35. ABB:n moottorien tehokerroin moottorin kuormituksen funktiona

Samanlaisia Siemensin valmistamia sähkömoottoreita käytetään sekä leijuilmapuhaltimissa että savukaasupuhaltimissa. Tehokertoimen muutosta osakuormilla on tutkittu liitteen 4 pohjalta. Syöttövesipumpuissa 1 ja 2 käytetään tehokkaampia Siemensin valmistamia moottoreita, joiden tehokertoimen muutosta osakuormilla on arvioitu myös liitteen 4 pohjalta, koska tarkkaa tietoa ei ole saatavilla.

### 3.6.1 Syöttövesipumppu

Syöttövesipumpun sähkönkulutusta tutkittiin ABB:n Vtrin-järjestelmästä ajanjaksolla 7.8–17.9.2015. Kyseisellä ajanjaksolla seurattiin syöttövesipumpun 2 kuormitusta suhteessa KK2:lla tuotettuun korkeapaineisen höyryn määrään. Punainen trendi (kuva 36) esittää KK2:lla tuotetun korkeapaineisen höyryn määrää ja keltainen trendi osoittaa syöttövesipumpun 2 kuormituksen kyseisenä hetkenä.



Kuva 36. Syöttövesipumpun 2 kuormitus suhteessa tuotettuun korkeapainehöyryn määrään (Stora Enso Oyj. 2015h)

Ajanjaksolla kattilan tuottama höyry vaihteli välillä 20 - 76,6 kg/s. Keskiarvoisesti pumpun käyntikuormitus oli 52,3 %. Taulukossa 20 on esitetty syöttövesipumpun 2 tehon kulutuksia eri kuormilla.

Taulukko 20. Syöttövesipumpun 2 tehon käyttö eri kuormilla

Kuvas	Keskiarvo	Maksimi
KK2 kuorma [kg/s]	37,4	76,6
Syöttövesipumppu 1 [%]	52,3	80,6
Virta [A]	61,7	95,1
Osakuorman cos φ	0,81	0,87
<b>Teho [kW]</b>	<b>908,9</b>	<b>1504,7</b>

Keskiarvo tehon käytölle oli 909 kW. Kattilan ajojaksoksi lasketaan 8 500 h vuodessa, jolloin kokonaissähkönkulutukseksi saadaan keskiarvallisesti

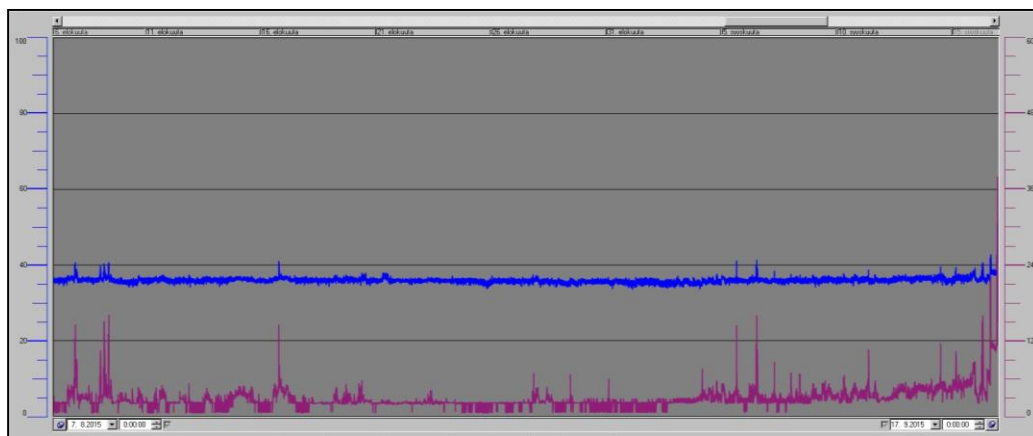
$$908,9 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 7725650 \text{ kWh} = 7725,7 \text{ MWh}$$

Syöttövesipumpun käyttämän sähkön määrä vuodessa (8 500 h) on siis arviolta noin 7700 MWh.

### 3.6.2 Ruiskutusvesipumppu

Turbiini 7 jälkeisen höyryn ruiskutusvesipumpun 1 sähkönkulutusta tutkittiin ABB:n Vtrin-järjestelmän mittaustietoihin perustuen. Historiatiedoista on tutkittu jäähdytysveden virtausta ja pumpun kuormitusta.





Kuva 37. Ruiskutusvesipumpun 1 kuormitus suhteessa jäähdytysveden virtaukseen. (Stora Enso Oyj. 2015h)

Kuvassa 37 violetilla trendillä on kuvattu jäähdytysveden virtausta ja sinisellä trendillä puolestaan kuvataan ruiskutusvesipumpun kuormitusta ajanjaksolla. Taulukossa 21 on tuloksia ruiskutusvesipumpun 1 tehonkäytöstä.

Taulukko 21. Ruiskutusvesipumpun 1 tehon käyttö

Kuvaus	Minimi	Keskiarvo	Maksimi
Jäähdytysvesi [kg/s]	0,5	2,8	37,9
Ruiskutusvesipumppu 1 [%]	33,4	35,9	51,1
Virta [A]	98,5	105,9	150,7
Osakuorman cos $\varphi$	0,74	0,75	0,84
<b>Teho [kW]</b>	<b>87,1</b>	<b>94,9</b>	<b>151,3</b>

Kuorman vaihdellessa ruiskutusvesipumpun kuormitus vaihteli välillä 33 % - 51 %. Tällöin tehoalue vaihteli välillä 87 kW- 151 kW. Keskimääräiseksi kulu-  
tukseksi ajanjaksolla saatiin noin 95 kW. Ruiskutusvesipumpun sähkönkulutus käyttöjakson (8 500 h) aikana keskiarvallisesti on:

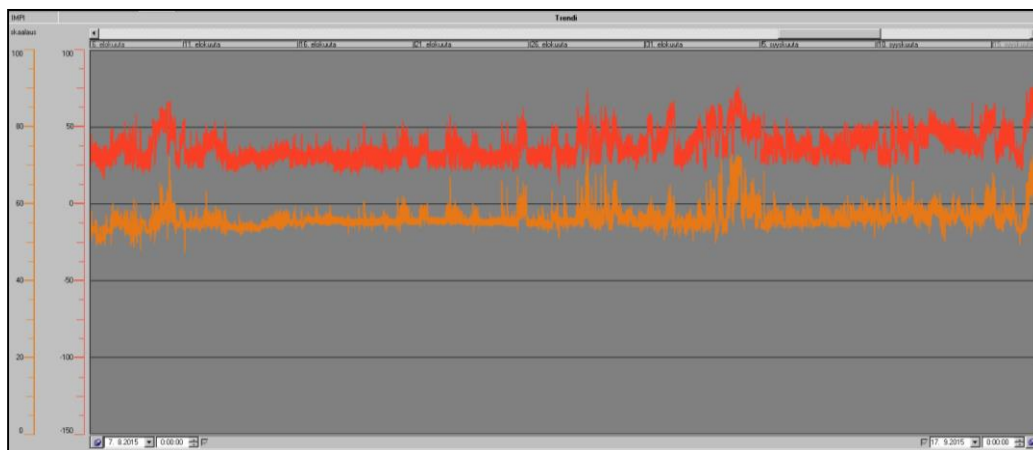
$$94,9 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 806\,650 \text{ kWh} = 806,7 \text{ MWh}$$

Ruiskutusveden pumppaukseen turbiini 7 jälkeiseen höyryn jäähdytykseen ku-  
luu vuodessa (8 500 h) sähköä arviolta noin 800 MWh.

### 3.6.3 Leijuilmapuhallin

Leijuilmapuhaltimen mittaustiedot perustuvat ABB:n Vtrin-järjestelmästä saa-  
tuihin tietoihin. Puhaltimen toiminnasta saatiin ajanjaksolla seuraavia tietoja.





Kuva 38. Leijuilmapuhaltimen kuormitus suhteessa tuotettuun korkeapainehöyry määrään (Stora Enso Oyj. 2015h)

Kuvassa 38 punainen trendi esittää KK2:n tuottaman korkeapaineisen höyryn määrää. Oranssi trendi kuvaa leijuilmapuhaltimen kuormitusta suhteessa kuorikattilan tuottoon. Taulukossa 22 on leijuilmapuhaltimen tuloksia. Leijuilmapuhaltimen on ylläpidettävä tietty paine leijutuksen mahdollistamiseksi, joten puhaltimella on minitoimintapiste.

Taulukko 22. Leijuilmapuhaltimen tehon käyttö

Kuvaus	Minimi	Keskiarvo	Maksimi
KK2 kuorma [kg/s]	20,0	37,4	76,6
Leijuilmapuhallin [%]	47,4	56,3	73,1
Virta [A]	29,4	34,9	45,3
Osakuorman cos $\phi$	0,79	0,81	0,84
<b>Teho [kW]</b>	<b>422,4</b>	<b>514,1</b>	<b>692,1</b>

Puhaltimen kuormitus minimissään oli 47,4 %. Tämä vastaa tehona noin 422 kW. Keskiarvallisesti höyrykuorma vaihteli välillä 20 - 76,6 kg/s. Puhaltimen keskiarvollinen kuormitus oli 56,3 %, jolloin tehonkäyttö oli noin 514 kW. Puhaltimen maksimi kuormitus oli 73,1 %. Tehonkäyttö oli suurimmillaan noin 692 kW.

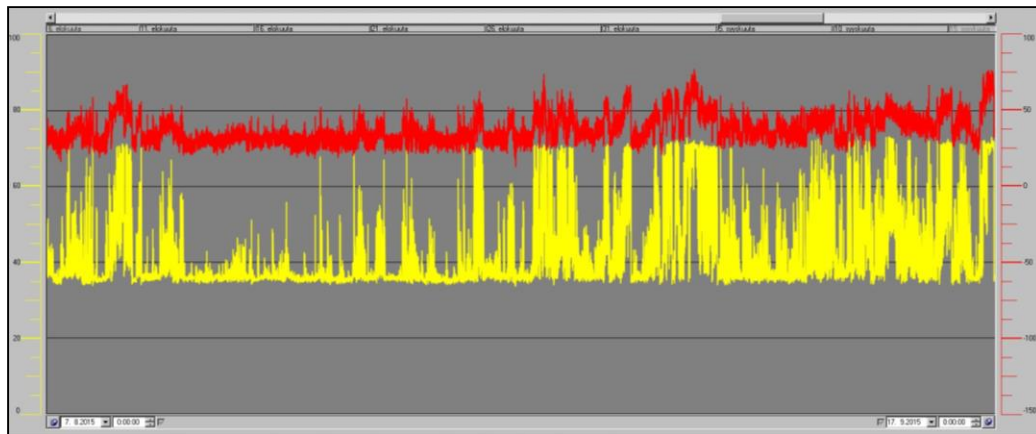
Vaihteluväli oli tässä tapauksessa kuormituksena 47,4 % - 73,1 %. Tehoina vaihtelu oli välillä 422 kW – 692 kW. Keskiarvona tehon käytölle on 514 kW. Leijuilmapuhaltimen käyttämä energia vuositasolla on arviolta:

$$514,1 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 4\,369\,850 \text{ kWh} = 4\,369,9 \text{ MWh}$$

Leijuilmapuhaltimen käyttämä sähkönenergia vuoden ajojaksolla (8 500 h) on siis arviolta noin 4 370 MWh.

### 3.6.4 Sekundääri-ilmapuhallin

Ajanjaksolla seurattiin korkeapainehöyryn kuorman muutoksen vaikutusta sekundääri-ilmapuhaltimen kuormitukseen. Sekundääri-ilmapuhaltimen mittauksista saatiin seuraavia tuloksia.



Kuva 39. Sekundääripuhaltimen kuormitus suhteessa korkeapainehöyryn tuottoon (Stora Enso Oyj. 2015h)

Kuvassa 39 punainen trendi kuvaa KK2:n kuorman muutoksia ja keltainen trendi sekundääri-ilmapuhaltimen kuormitusta. Taulukossa 23 on tutkitun aikavälin tiedot sekundääri-ilmapuhaltimen tehon käytöstä.

Taulukko 23. Sekundääri-ilmapuhaltimen tehonkäyttö

Kuvaus	Keskiarvo	Maksimi
KK2 kuorma [kg/s]	37,4	76,6
Sekundääri-ilmapuhallin [%]	42,3	73,0
Virta [A]	275,0	474,5
Osakuorman cos φ	0,76	0,86
<b>Teho [kW]</b>	<b>249,7</b>	<b>487,7</b>

Puhaltimen keskiarvoinen kuormitus oli 42,3 %, tehona noin 250 kW. Maksimissaan puhaltimeen kohdistui ajanjaksolla 73,0 % kuorma, jolloin tehoksi saadaan noin 488 kW.

Keskiarvollisesti sekundääri-ilmapuhaltimen käyttämä energia vuositasolla (8 500 h) on arviolta:

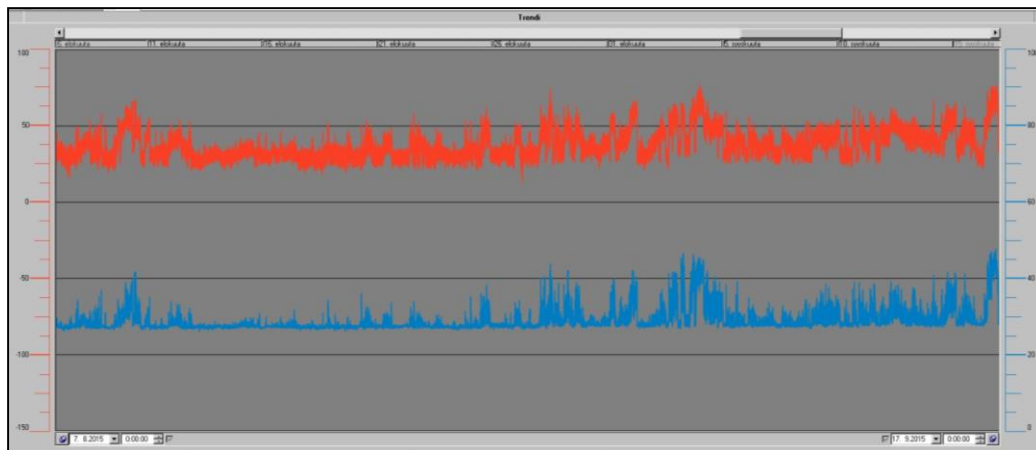
$$249,7 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 2\,122\,450 \text{ kWh} = 2\,122,5 \text{ MWh}$$

Arviolta sekundääri-ilmapuhaltimen sähkönkulutukseksi saadaan noin 2 120 MWh vuodessa.

### 3.6.5 Savukaasupuhaltimet

#### Savukaasupuhallin 1

KK2:n savukaasupuhaltimilla on erikseen oma suhdesäätö (0-100 %), jolla voidaan jakaa kuormitusta puhaltimien kesken. Säätö on ollut tutkimusjaksolla aseteltuna ajalla 7.8–13.8 47 % ja 13.8–17.9 45 %. Tällöin puhallin siirtää kuormaa suhteessa enemmän savukaasupuhaltimelle 1.



Kuva 40. Savukaasupuhaltimen 1 kuormitus suhteessa tuotettuun korkeapainehöyryn määrään (Stora Enso Oyj. 2015h)

Savukaasupuhaltimen 1 kuormitus on esitetty kuvassa 40 sinisellä trendillä. Punainen trendi kuvaa KK2:n korkeapainehöyryn kuormaa. Taulukossa 24 on saadut tehotiedot savukaasupuhaltimelle 1.

Taulukko 24. Savukaasupuhaltimen 1 tehonkäyttö eri kuormilla

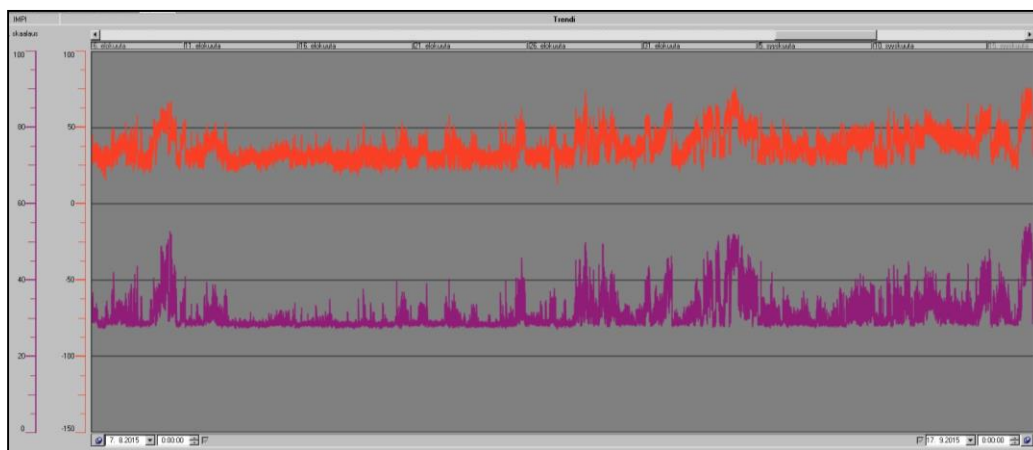
Kuvaus	Keskiarvo	Maksimi
KK2 kuorma [kg/s]	37,4	76,6
Savukaasupuhallin 1 [%]	29,1	47,7
Virta [A]	18,0	29,6
Osakuorman cos φ	0,66	0,79
<b>Teho [kW]</b>	<b>216,6</b>	<b>424,9</b>

Suurin puhaltimen kuormitus oli 47,7 %, joka tehona vastaa noin 425 kW. Keskiarvona kuormitukselle oli 29,1 %, tällöin tehon keskiarvona on noin 217 kW. Vuodessa savukaasupuhallin ajanjakson tietojen perusteella kuluttaa

$$216,6 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 1\,841\,100 \text{ kWh} = 1\,841,1 \text{ MWh}$$

## Savukaasupuhallin 2

Kuvassa 41 on esitetty violetilla trendillä puhaltimen kuormitus ja punainen trendi kuvaa KK2:n korkeapaineisen höyryn tuottoa.



Kuva 41. Savukaasupuhaltimen 2 tehon käyttö eri kuormilla (Stora Enso Oyj. 2015h)

Taulukossa 25 on esitetty yhteenveto savukaasupuhallin 2 käyttämästä tehosta.

Taulukko 25. Savukaasupuhallin 2 tehonkäyttö

Kuvaus	Keskiarvo	Maksimi
KK2 kuorma [kg/s]	37,4	76,6
Savukaasupuhallin 2 [%]	31,2	54,7
Virta [A]	19,3	33,9
Osakuorman $\cos \phi$	0,67	0,81
<b>Teho [kW]</b>	<b>235,7</b>	<b>499,6</b>

Ajanjakson maksimi kuormalla kuormitus puhaltimessa oli 54,7 %, joka vastaa tehona noin 500 kW. Keskiarvallisesti kuormitus oli 31,2 % eli tehona 236 kW. Vuositasolla (8 500 h) savukaasupuhallin 2 käyttämä sähkö on:

$$235,7 \text{ kW} \cdot 8\,500 \text{ h} = 2\,003\,450 \text{ kWh} = 2\,003,5 \text{ MWh}$$

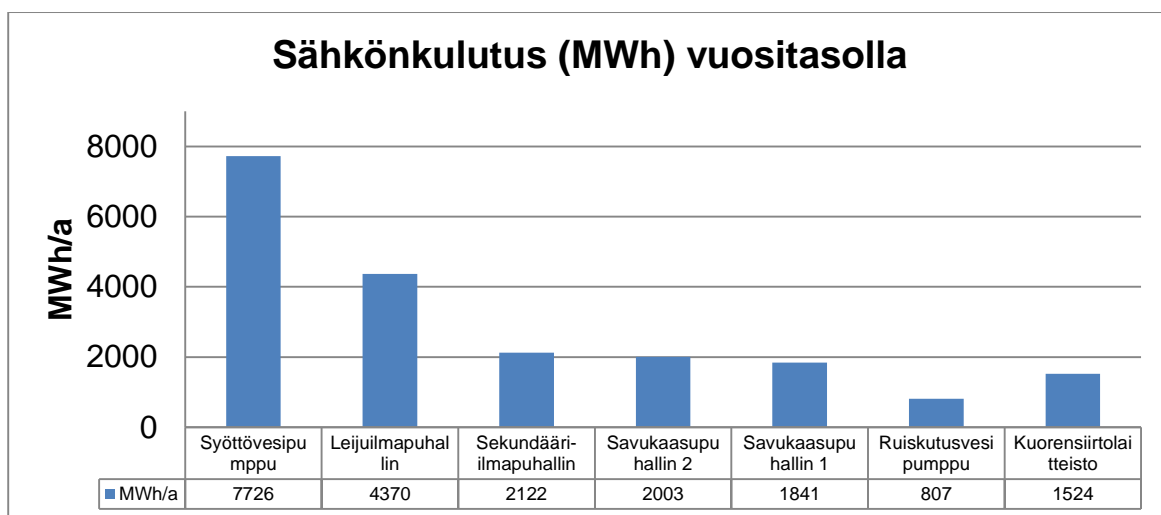
### 3.6.6 Kuorensiirtolaitteisto

Kuorensiirtolaitteiden toimintaa seurattiin ABB:n Vtrin -järjestelmästä saatujen tietojen perusteella. Ajanjaksona käytettiin samaa ajankohtaa kuin pumpuilla ja puhaltimilla (7.8–17.9.2015). Moottoreiden kuormitustieto otettiin Vtrin -järjestelmästä, jonka perusteella laskettiin sähkönkulutus keskimääräisesti.

Liitteessä 5 on laitteiden tekniset tiedot, joita laskuissa on käytetty. Tehokeroin osakuormilla on otettu huomioon (kuva 35). Kuorensiirtolaitteet käyttävät sähköä vuositasolla noin 1 500 MWh.

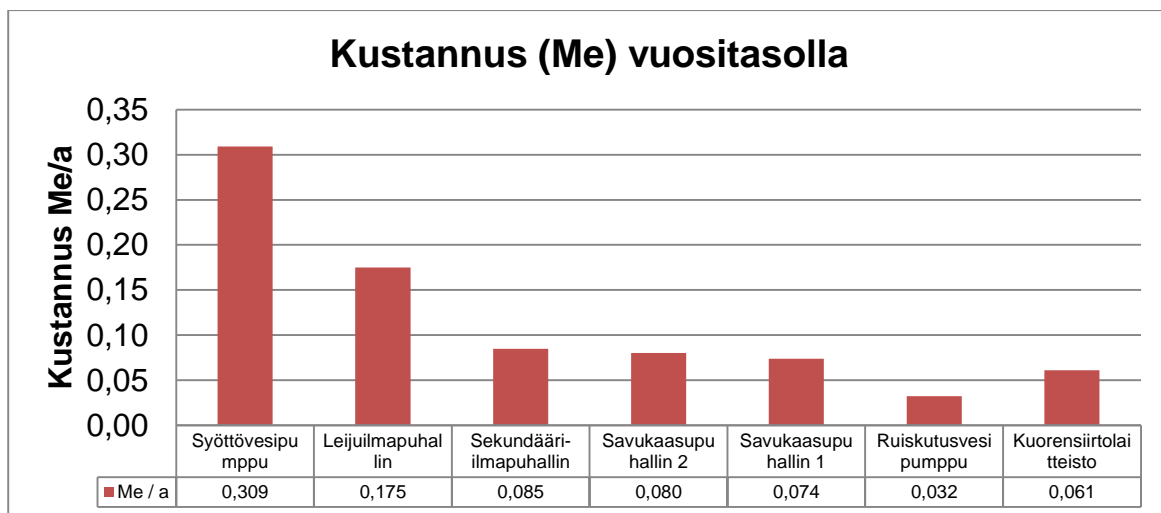
## 3.7 Yhteenveto sähkön käytöstä

Kuvassa 42 on esitetty sähkönkulutusta vuositasolla eri kohteissa. Suurimmat sähkönkuluttajat ovat syöttövesipumppu ja leijuilmapuhallin. Sähköä kaikki laitteet kuluttivat yhteensä noin 20393 MWh.



Kuva 42. Sähkönkäyttö kohteittain

Kuvassa 43 on esitetty kohteiden kustannukset vuositasolla. Sähkön hintana on käytetty 40 e/MWh. Suurimmat sähkönkäyttäjät ovat myös kustannukseltaan suurimpia. Syöttövesipumpun vuosikustannukset ovat noin 0,3 Me. Toiseksi suurimman kuluttajan leijuilmapuhaltimen vuosikustannukset ovat 0,175 Me. Yhteensä laitteiden vuosikustannus on noin 0,816 Me.



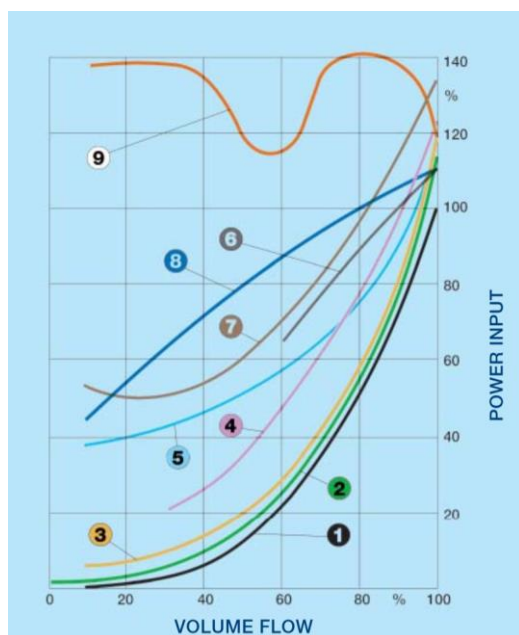
Kuva 43. Laitekohtaiset kustannukset

### 3.8 Taajuusmuuttajan hyödyntäminen

Nykyisessä prosessissa ei käytetä taajuusmuuttajaohjattuja säätöjä suurissa kulutuskohteissa. Puhaltimet ja pumppujen säädöt tapahtuvat mekaanisilla oh-

jauksilla. Aksiaalipuhaltimissa kuten sekundääri-ilmapuhaltimessa ja savukaa-supuhaltimissa käytetään juoksusiipisäätöä. Juoksusiipisäätö on energiatehokas ratkaisu, puhaltimen hötytsuhde pysyy vastaavanlaisena kuin pyörimisnopeussäädössä (ABB 2013, 2).

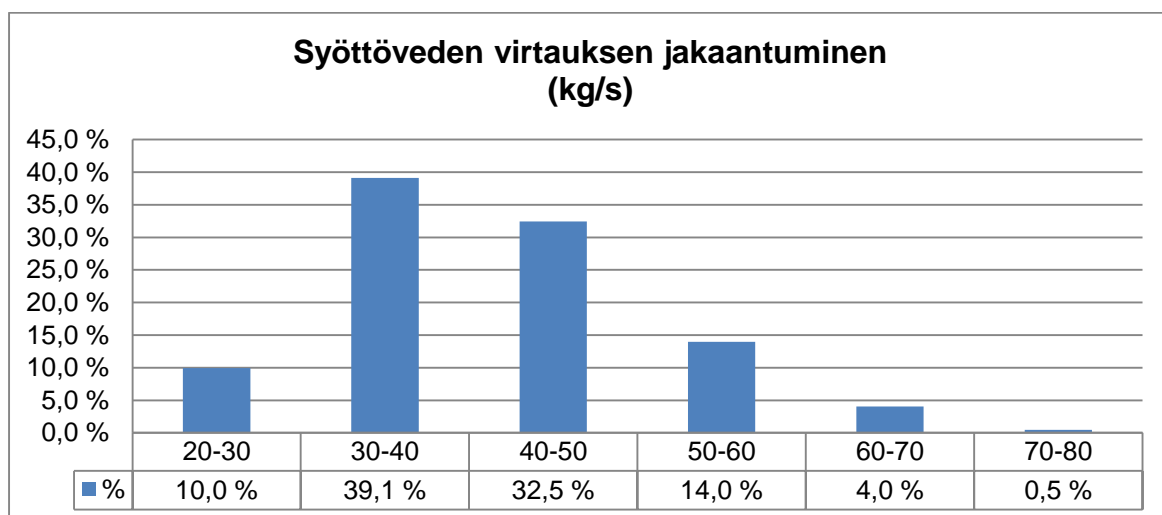
Siipikulmia muuttamalla puhaltimen käynnistyminen ei vaadi kovaa käynnistysmomenttia ja käynnistysvirta vähenee. Näin moottori saavuttaa pyörimisnopeutensa nopeasti. Haittapuolena juoksusiipisäädössä on monimutkaisempi rakenne, joka lisää huoltokustannuksia. Myös vikaantumisen mahdollisuus toimilaitteissa kasvaa rakenteen takia. Lisäksi moottorin heikentynyt hyötysuhde suorassa käytössä alhaisilla tehoilla (alle 50 %) tuovat enemmän etuja pyörimisnopeussäädölle. (Improving Fan System Performance 2013, 44). Kuvasta 44 voidaan todeta, että juoksusiipi- (käyrä 3.) ja pyörimisnopeussäädetyssä (käyrä 2) puhaltimessa tehonkäyttö vastaavat toisiaan. Teoreettinen puhaltimen vaatima teho on kuvattu käyrällä 1. Pienemmillä tehoilla puhaltimen tehonkäyttö kierroslukusäädössä on alhaisempi kuin juoksusiipisäädetyssä. Tarkkojen mittaustietojen ja taajuusmuuttajasäädön kokonaishintakustannuksien tietojen puuttuessa, ei voida luotettavasti laskea taajuusmuuttaja hankinnan kannattavuutta.



Kuva 44. Tehonkäyttö eri puhallin säädöissä (ABB 2009)

Leijuilmapuhaltimen johtosiipisäädön vaihtaminen taajuusmuuttajasäädöksi on tutkittu Vacon save -ohjelman avulla. Säästöarvioksi ohjelmalla saatiin 0,02 – 0,03 Me vuodessa. Käytetyt arvot ovat esitetty liitteessä 7. Tarkemmat arviot säästöistä on tehtävä erikseen, kun järjestelmän uusiminen tulee ajankoh-  
taiseksi.

Syöttövesipumpuissa ja ruiskutusvesipumpuissa käytetään nestekytkinsäätöä. Pumpuissa säästön mahdollisuutta on tutkittu ABB:n PumpSave laskurin pe-  
rusteella, käytetyt arvot ovat esitetty liitteessä 8. Syöttövesipumpun virtausta on tutkittu ajalta 7.8–17.9.2015. Kuvassa 45 on esitetty syöttövesipumpun vir-  
tauksen jakaantuminen tutkitulla aikajaksolla.



Kuva 45. Syöttöveden virtauksen jakaantuminen aikajaksolla 7.8-17.9.2015

Laskuissa arviona syöttöveden ja lieriön pinnan korkeuserona käytetään 10 metriä. Hyötysuhteena pumpulla on käytetty ohjelman oletusarvoa. Syöttöve-  
den staattinen nostokorkeus on laskettu kaavalla 11.

$$H_{st} = H_g + \frac{P_p - P_i}{\rho \cdot g} \quad (11)$$

jossa  $H_{st}$  = staattinen nostokorkeus [m]

$H_g$  = geodeettinen korkeus,

säiliöiden nestepintojen korkeusero [m]



$P_p$ = lieriön paine	[Pa]
$P_i$ = syöttövesisäiliön paine	[Pa]
$\rho$ = nesteen tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$ = putoamiskiihtyvyys	[m/s <sup>2</sup> ]

Syöttöveden staattiseksi nostokorkeudeksi saadaan kaavalla 11.

$$H_{st} = 10 \text{ m} + \frac{86 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{951 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 923 \text{ m} \quad (11)$$

Prosentuaalinen säästöarvio tutkitulla ajanjaksolla (7.8–17.9.2015) on 16,0 %. Laskentaohjelma ottaa huomioon vain, jos vaihdetaan nestekytkinsäätö taajuusmuuttajaan, kuristussäätöä ohjelma ei ota lisäksi huomioon. Joten sähkönkulutus laskentaohjelmalla on pienempi.

Tässä tapauksessa taajuusmuuttajan hyödyksi saatiin 16,0 % säästöä verrattuna nestekytkinsäätöön. Tämä suhteutettuna nykyisin syöttövesipumpun käyttämään kulutukseen (kuva 41) säästöksi saadaan:

$$0,16 \cdot 7726 \text{ MWh} \approx 1236 \text{ MWh}$$

Tämä vastaa säästönä noin 0,049 Me tutkitulla ajanjaksolla.

Ruiskutusvesipumpun säästöarvio tutkittiin ajanjaksolla 7.8–17.9.2015. Säästöarvioksi ABB:n PumpSave -ohjelmalla saatiin 37.1 %. Liitteessä 9 on esitetty käytetyt arvot.

Staattinen nostokorkeus voidaan laskea seuraavasti. Ruiskutusvesi ohjataan 1,0 MPa ja 0,5 MPa tukeille. Laskennassa käytetyt arvot ovat välipainetukin paine 1,0 MPa, syöttövesisäiliön paine 0,08 Mpa sekä säiliön ja pumpun korkeusero paineena -0,21 MPa.

$$1,0 \text{ MPa} - 0,08 \text{ MPa} + (-0,21 \text{ MPa}) = 0,71 \text{ MPa}$$

Tällöin ruiskutusvesipumpun staattiseksi nostokorkeudeksi tulee:

$$H_{st} = \frac{7,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{951 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 76 \text{ m}$$

Säästöarvio suhteutettuna nykyiseen kulutukseen (kuva 42) saadaan säästöksi:

$$0,371 \cdot 807 \text{ MWh} \approx 299,4 \text{ MWh}$$

Säästöt ovat vuositasolla noin 0,012 Me.

Lasketut säästöt ovat riippuvaisia monista arvoista, kuten taajuusmuuttajan hyötysuhteesta, virtauksen jakaantumisesta ja moottorin hyötysuhteesta eri kuormituksilla. Lisäksi säästöön vaikuttaa nestekytken hyötysuhde pienillä kierroksilla verrattuna taajuusmuuttajan hyötysuhteeseen. Tässä tilanteessa laskenta-arvio sääästöstä on vain suuntaa-antava. Todellisen säästölaskelman voi tehdä vasta kun tiedetään tulevan säätöjärjestelmän hyötysuhde kokonaisuudessaan verrattuna nykyiseen järjestelmään. Takaisinmaksuaika on riippuvainen tulevien taajuusmuuttajien hankinnan kokonaiskustannuksista.

#### 4 KEINOT OMAKÄYTTÖENERGIAN PARANTAMISEKSI

Nuohous suoritetaan kuorikattilalla kolme kertaa vuorokaudessa, eikä kattilalla ole ollut havaittavissa olevia ongelmia likaantumisen kanssa. Kattilan iästä riippuen nuohoushöyryä käytetään 1 - 2 % kattilan normaalikapasiteetista. Muuttamalla nuohouksen mekaanisia ratkaisuja esimerkiksi vaihtamalla suutinpäitä, ei tässä tapauksessa saada hyötyä höyryn säästämisen suhteen. Myöskään nykyisen nuohoushöyryn ottoapaikan muuttaminen tulistinalueelta turbiinin väliottoon ei ole kannattavaa. (Lindevall 2015).

Taloudellisin vaihtoehto kuorikattilan nuohouksen tehostamisessa olisi niin sanottu älykäs nuohous, Smart Cleaning. Näin saataisiin optimoitua höyryn käyttöä ja samalla pienennettyä kunnossapidon kustannuksia. Mekaanisia muutoksia nuohoukseen ei tarvitse tehdä, vaan muutos tapahtuu lisäämällä erillinen ohjelma DCS:n rinnalle. Ohjelma poimii järjestelmästä DCS:n kautta laskentaparametrit ja määrittelee laskennallisesti mitä nuohoimia kannattaa milloinkin ajaa. Näin voidaan optimoida nykyisen nuohouksen toiminta laskentaparametrien avulla. Hyöty saavutetaan suurimmaksi osaksi säästyneissä

kunnossapitokustannuksista. Investoinnin takaisinmaksuaika arviolta 1,5-4v. Hinta -arvio noin 40–50 tuhatta euroa. (Lindevall 2015).

Jatkuvaa ulospuhallukseen menevää energiaa hyödynnetään jo nykyisessä prosessissa lisäveden lämmityksessä. Kuitenkin eräässä innovaatiossa jatkuvaa ulospuhallusta pystytään hyödyntämään nuohouksessa. Jatkuva ulospuhallus ohjataan uuteen ulospuhallussäiliöön, josta se edelleen ohjataan nuohoukseen. Nuohouskäytössä jatkuvan ulospuhalluksen epäpuhtaudet puhalletaan kattilan tulipesään, jolloin epäpuhtaudet saadaan poistettua kierrosta. Hyödynnettäessä jatkuvaa ulospuhallusta nuohouksessa säästettäisiin korkeapaineisen nuohoushöyryn määrässä. Mikä vastaavasti vähentää polttoaineen tarvetta ja tuotettavan lisäveden määrää.

Pneumaattisissa tuhkalähetyksissä yksinkertaisin mahdollisuus säästää tuotettua paineilmaa on muuttaa taukoaikaa ja puhallusaikaa. Tarkempi selvitys todellisesta paineilman tarpeesta voi tuoda säästöjä paineilman käytössä. Tällä hetkellä taukoajat ja puhallusajat on määritelty toimivuuden mukaan, eli tarkkaa tietoa ei ole todellisesta tauko- ja puhallustarpeesta. Myös skaalaus voitaisiin muuttaa suuremmaksi ja asteittain taukoaikaa nostamalla selvittää todellinen lähetystarve. Taukoajalla varmistettaisiin lähetysten toiminta. Nykyisin taukoajan skaalaus on aseteltu 5 - 60 minuuttiin. Jokaisen lähetysten toiminta on tutkittava erikseen, jotta välttyttäisiin mahdollisilta tukoksilta.

Tarkemmat painemittaustiedot kertoisivat, milloin putki on tyhjä eli tällöin puhallus voitaisiin lopettaa mahdollisesti jo ennen määriteltyä puhalluksen minimaaliaikaa. Painekeytkimet ovat alkuperäiset ja niiden toiminnasta ei ole tarkkaa tietoa. (Fager 2015.) Jatkovatoimiset paineilmajärjestelmän määrämittarit (kWh, m<sup>3</sup>/min, MPa) antaisivat tarkempaa tietoa kulutetusta paineilmasta, näin voitaisiin todentaa ja parantaa järjestelmän energiatehokkuutta. Myös järjestelmän vuodot on tärkeä korjata.

Lämmöntalteenoton osalta olisi kannattavaa tarkastaa liejujäähdyttimen lämmönsiirtopintojen puhtaus, tämä tehostaisi lisäveden lämmitystä. Tehokas lämmönsiirto vastaavasti vähentäisi myös syöttövesisäiliölle tarvittavan matalapainehöyryn määrää. Myös energian palautuksen tehokkuus parantuisi. Nyt siirtymättä jäänyttä lämpöä ajetaan ulospuhallussäiliön kautta kanaaliin. Ulos-

puhallussäiliötä joudutaan lisäksi jäähdyttämään raakavedellä, mikä lisää vielä prosessin häviöitä.

Sekundääri-ilman höyryluvoa on tähän astia ajettu L-tilassa eli säätöpiiri seuraa puhaltimen jälkeisen ilman lämpötilaa. Tällöin säätö ei ota huomioon muita prosessissa tapahtuvia muutoksia, kuten savukaasujen lämpötilan nousua kuorman noustessa. Säätöpiirissä on myös mahdollisuus ajaa höyryluvoa R - ohjauksella. Tällöin säätöpiiri ottaa huomioon kuorikattilan höyryn kuorman muutokset ja ohjaa höyryluvon jälkeisen ilman lämpötilaa aseteltujen parametrien ohjaamana. Jos säätöpiiri toimisi optimaalisesti oikeiden parametrien ohjaamana, ajettaisiin höyryä vain tarvittu määrä. Näin toimimalla savukaasujen loppulämpötila putoaisi parantaen kattilan hyötysuhdetta. Leijuilman höyryluvon ohjelmoiminen toimimaan R-tilassa prosessin sallimissa rajoissa vähentäisi edelleen höyrynkäyttöä korkeammilla kattilan kuormilla.

R-tilan toimintaa tutkittiin vain lyhyellä aikavälillä, joten sekundääri-ilmapuhaltimen R-tilan toimintaa pidemmällä aikavälillä on seurattava, jotta mahdolliset haitalliset muutokset prosessissa voidaan havaita.

Taajuusmuuttajat ovat nykyisin ensisijainen säätömenetelmä uusissa laitoksissa. Taajuusmuuttajalla ohjattu moottori pyörii vain prosessin vaatimalla nopeudella, jolloin prosessin energiankäyttö tehostuu. Tässä tapauksessa suurempiin Siemensin 10,5 kV moottoreihin taajuusmuuttajaa kannattaa harkita vasta nykyisten säätöjärjestelmien vikaantuessa. 10,5 kV moottoreita käytetään savukaasupuhaltimissa, leijuilmapuhaltimissa ja syöttövesipumpuissa. Nykyisien 10,5 kV moottorien yhteensopivuudesta taajuusmuuttajan kanssa ei ole täyttä varmuutta. Suurempi jänniteluokka vaatii rakennusten uudistamista kyseisille taajuusmuuttajille, tulevat vaatimaan vesijäähdytyksen. Rakennusten muutostyöt tuovat lisäkustannuksia. Esimerkiksi nestekytkimien hajoaminen syöttövesipumpussa on ajankohta, jolloin taajuusmuuttajan hankinta voitulla kannattavaksi. Myös ruiskutusvesipumppuihin kannattaa taajuusmuuttajan hankintaa harkita nykyisen vikaantuessa. Ruiskutusvesipumpuissa käytetään jännitteeltä pienempiä moottoreita, joten taajuusmuuttajat ovat edullisempia ja hankinnaltaan kannattavampia. (Hämäläinen 2015)

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia voimalaitoksen kuorikattilan omakäyttöenergian kulutusta ja sen tehostamismahdollisuuksia. Säästö- ja tehostamispotentiaalia löytyi monelta osa-alueelta ja niiden kehittäminen vaatii joiltakin osin vielä jatkoselvityksiä. Säästön saavuttaminen esimerkiksi matalapainehöyryn kulutuksessa ja tuhkalähetysten paineilman käytössä ei vaadi investointeja. Taajuusmuuttajasäädöt puhaltimiin ja pumppuihin tulevat ajankohtaiseksi, kun nykyiset säätöjärjestelmät vaativat uudistamista. Nykyaikana prosessin tarkka tietämys ja vähäinenkin tehostaminen parantavat laitoksissa kokonaishyötysuhdetta pitkällä aikavälillä.

Aihe tässä työssä oli mielenkiintoinen ja haasteellinen. Tutkimisessa pystyi hyödyntämään omaa kokemusta voimalaitoksella työskentelystä. Lisäksi opintojen kautta saadun teoreettisen opin pohjalta pystyin hyödyntämään tietoa käytännössä. Työn isoimmaksi haasteeksi muodostui tutkittavan alueen laajuus. Laajuuden takia yksityiskohtien tutkiminen ei ollut kaikilta osin mahdollista ja siksi joidenkin osa-alueiden tutkiminen jäi yleiselle tasolle. Työssä selviää tämän hetkisten järjestelmien energiankäyttö ja mahdollisuudet niiden kehittämiseen.

## LÄHTEET

AC drives enable precise gas flow and reduce energy consumption of cement ID fans. 2009. ABB Oy. Saatavissa:

[https://library.e.abb.com/public/dd1933439e306d24c12575be00291542/14530%20FactFileAD12\\_Cement%20preheater\\_RevB\\_EN\\_lowres.pdf](https://library.e.abb.com/public/dd1933439e306d24c12575be00291542/14530%20FactFileAD12_Cement%20preheater_RevB_EN_lowres.pdf) [Viitattu 25.11.2015].

CalcSteam-laskenta ohjelma. Saatavissa:

[http://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser\\_dampf\\_e.html](http://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser_dampf_e.html) [Viitattu 25.11.2015]

Energiatohokkaat pumpput. 2011. Motiva Oy. Saatavissa:

[http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatohokkaat\\_pumpput.pdf](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatohokkaat_pumpput.pdf) [viitattu 18.8.2015].

Energy efficiency assessment Improving fan system efficiency using Variable Speed Drives. 2013. ABB Oy. Saatavissa:

<https://library.e.abb.com/public/deafbb6fff338a8ec1257cc800484065/DEABB%201904%2013%20en%20Variable%20Speed%20Drive%20final.pdf> [Viitattu 25.11.2015].

Fager J. 2015. Voimalaitos operaattori. Haastattelu. [4.11.2015]

Hietalahti L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.

Hirvonen T. 2015. Päivämestari. Haastattelu. [11.12.2015]

Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P. & Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita ab.

Huhtinen M., Korhonen R., Pimiä T., Urpilainen S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.

Hämäläinen E. 2015. Kunnossapitoinsinööri. Efora Oy. Haastattelu. 2.12.2015.

Improving Fan System Performance. 2013. U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy Washington, D.C. 20585. Saatavissa: <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/29166.pdf> [Viitattu 25.11.2015].

Kaukolämmön pumppausjärjestelyt. 2011. Energiateollisuus ry. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/suositusl10\\_2011.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/suositusl10_2011.pdf) [viitattu 2.10.2015].

Kilkki N., Hakala H., 2010. Botnia echo. Saatavissa: [http://www.metsafibre.fi/Uutiset/Material%20Archive/ECHO\\_2\\_2010\\_FI.pdf](http://www.metsafibre.fi/Uutiset/Material%20Archive/ECHO_2_2010_FI.pdf) [10.10.2015].

Knowpap- oppimisympäristö. 2013. Paperin ja kartongin valmistus. Saatavissa: <http://www.knowpap.com/suomi/> [Viitattu 15.7.2015].

Lindevall M. 2015. Clyde Bergemann Power Group. Sähköposti. [Viitattu 7.10.2015].

Loisteho. 2014. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry. Saatavissa: [http://www.stek.fi/kysy\\_sahkosta/sahkoverkot/fi\\_FI/loisteho/](http://www.stek.fi/kysy_sahkosta/sahkoverkot/fi_FI/loisteho/) [Viitattu 18.11.2015].

Low voltage motors. Motor guide. 2014. ABB Oy. Saatavissa: <http://new.abb.com/docs/librariesprovider53/about-downloads/low-voltage-motor-guide.pdf?sfvrsn=2> [Viitattu: 25.11.2015].

Niiranen J. 1999. Sähkömootorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Oy Yliopistokustannus/Otatieto.

Pehmökäynnistinopas. 2011. ABB Oy. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf) [Viitattu 18.11.2015].

Pulkkinen K. 2015. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy. Sähköposti. [Viitattu 5.11.2015].

Pyrhönen J., Jokinen T. & Hrabovcová V. 2014. Design of Rotating Electrical Machines. John Wiley & Sons, Ltd. Saatavissa: <http://site.ebrary.com.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/lib/kyam/reader.action?docID=10768988> [Viitattu 18.11.2015].

Shemeikka J., Hietaniemi J. 2003. Motiwatti 2.0 energiakatselmoijan työkalunlaskentaperiaatteet. Motiva Oy. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti\\_2.0\\_energiakatselmoijan\\_tyokalun\\_laskentaperiaatteet.pdf](http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_laskentaperiaatteet.pdf) [viitattu 23.11.2015].

Stora Enso Oyj. 2015a. Verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti> [ Viitattu 11.8.2015].

Stora Enso Oyj. 2015b. Verkkosivut. Imatran tehtaat. Saatavissa:

<http://renewablepackaging.storaenso.com/about-us/mills/imatra-mill/finnish> [ Viitattu 11.8.2015].

Stora Enso Oyj. 2015c. Voimalaitoksen Metso DNA -ohjausjärjestelmän näytöt. Stora Enso Imatran tehtaat.

Stora Enso Oyj. 2015d. Toimintakuvaukset. Sisäinen materiaali, ei saatavissa. Stora Enso Imatran tehtaat.

Stora Enso Oyj. 2015e. Excel-taulukko energiaraportit. Ei saatavissa. Stora Enso Imatran tehtaat.

Stora Enso Oyj. 2015f. Promas -raportit. Ei saatavissa. Stora Enso Imatran tehtaat.

Stora Enso Oyj. 2015g. Sähköenergia - erittelyt. Tuloste. Ei saatavissa. Stora Enso Imatran tehtaat.

Stora Enso Oyj. 2015h. ABB Vtrin -käyttöliittymä. Kuvakaappaus. Ei saatavissa. Stora Enso Imatran tehtaat.

Sähkökäytöt. 2013. Aalto-yliopisto. Saatavissa:

[http://eea.aalto.fi/fi/research/electric\\_drives/](http://eea.aalto.fi/fi/research/electric_drives/) [viitattu 15.11.2015].

Varis M. 2015. Energiainsinööri. Stora Enso Oyj. Sähköposti. [Viitattu 13.10.2015].



## ABB tehokerrointaulukko.

**Power factor values**

The power factors for rated output are listed in the technical data tables in product catalogs.

The table below illustrates typical power factors. ABB supplies guaranteed values on request.

As the table shows, a motor with a power factor of 0.85 has 3/4 load value of 0.81, 1/2 load value of 0.72 and 1/4 value of 0.54.

Power factor $\cos \varphi$				
2 - 12 poles				
$1.25 \times P_N$	$1.00 \times P_N$	$0.75 \times P_N$	$0.50 \times P_N$	$0.25 \times P_N$
0.92	0.92	0.90	0.84	0.68
0.91	0.91	0.89	0.83	0.66
0.90	0.90	0.88	0.82	0.64
0.89	0.89	0.87	0.81	0.62
0.88	0.88	0.86	0.80	0.60
0.88	0.87	0.84	0.76	0.58
0.87	0.86	0.82	0.73	0.56
0.86	0.85	0.81	0.72	0.54
0.85	0.84	0.80	0.71	0.52
0.84	0.83	0.78	0.70	0.50
0.84	0.82	0.76	0.66	0.46
0.84	0.81	0.74	0.63	0.43
0.83	0.80	0.73	0.60	0.40
0.82	0.79	0.72	0.59	0.38
0.82	0.78	0.71	0.58	0.36
0.81	0.77	0.69	0.55	0.36
0.81	0.76	0.68	0.54	0.34
0.80	0.75	0.67	0.53	0.34
0.79	0.74	0.66	0.52	0.32
0.78	0.73	0.65	0.51	0.32
0.78	0.72	0.62	0.48	0.30
0.78	0.71	0.61	0.47	0.30
0.77	0.70	0.60	0.46	0.30

**Table 4.8 Power factors for induction motors**

Laskennassa käytetyt arvot:

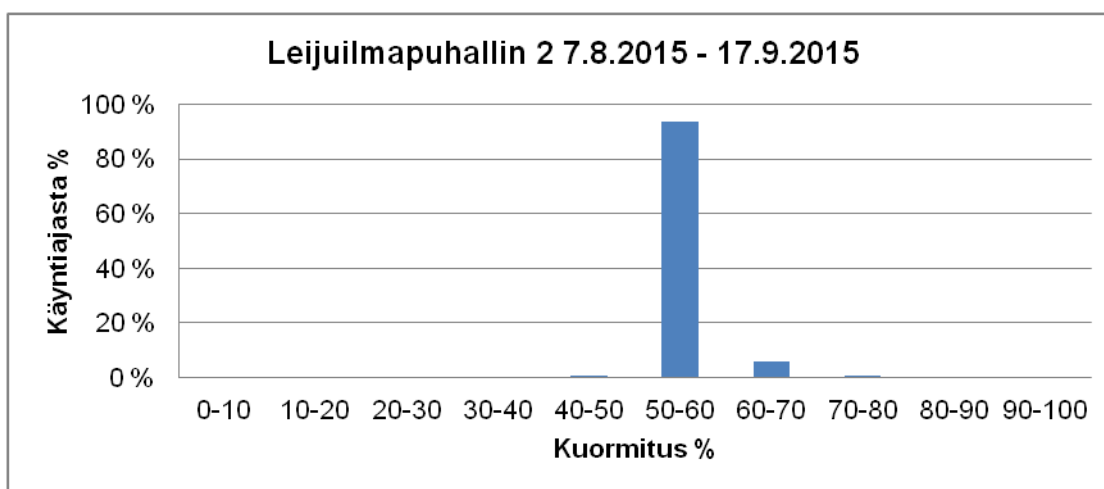
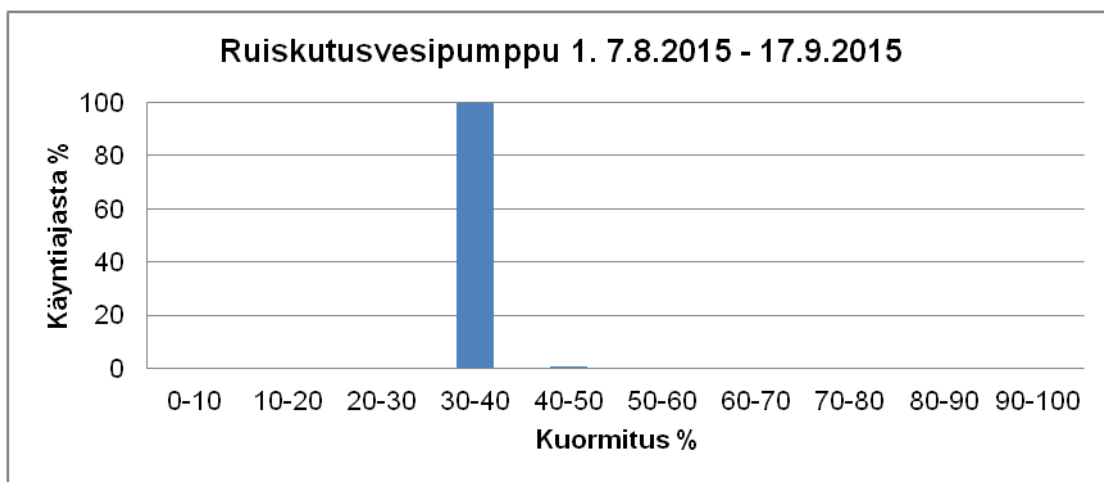
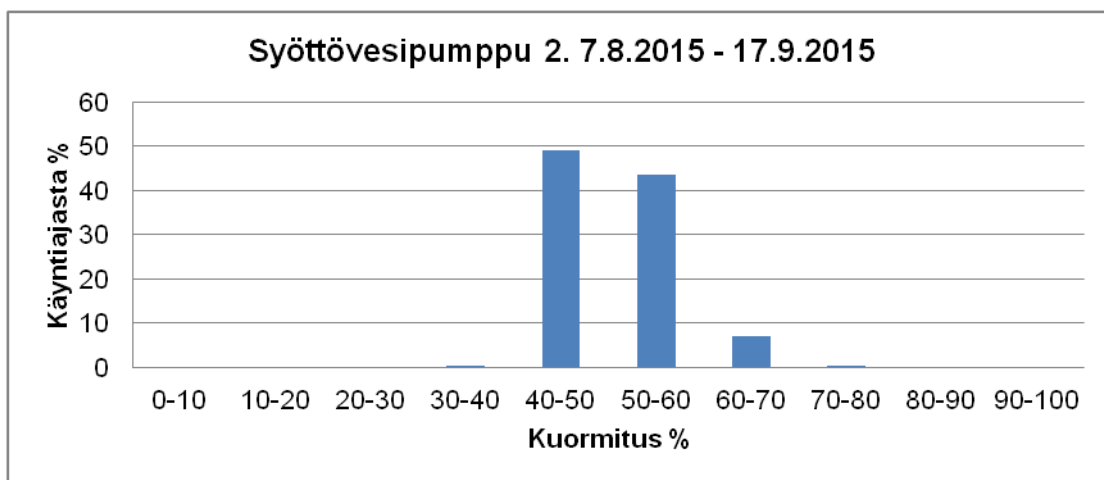
Kohde	Lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Paine [MPa]	Entalpia kJ/kg
Jatkuvaulospuhallus	300	8,6	1344
Syöttövesi	117	9,9	497
Nuohoushöyry	430	8,6	3211
Matalapainehöyry	181	0,52	2777
Lauhde	114	-	478

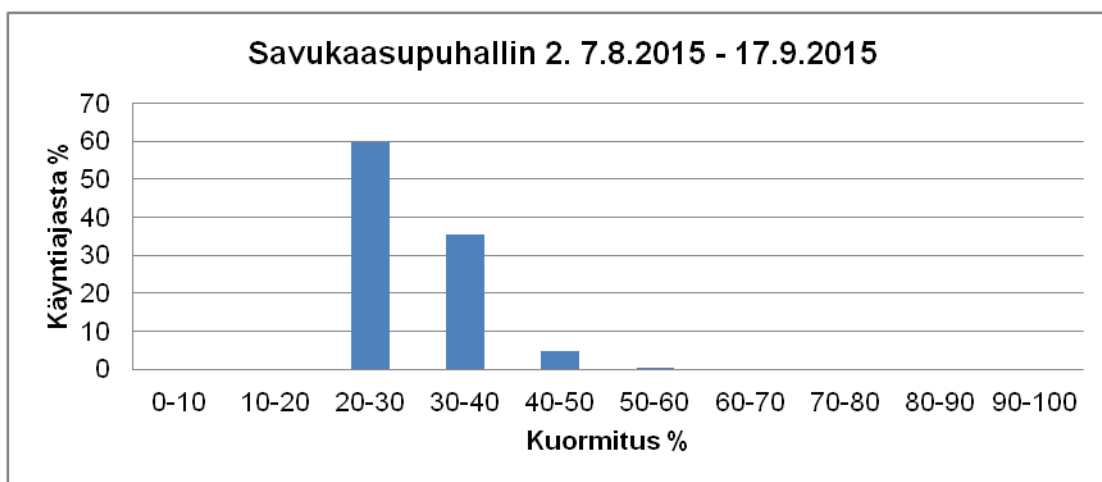
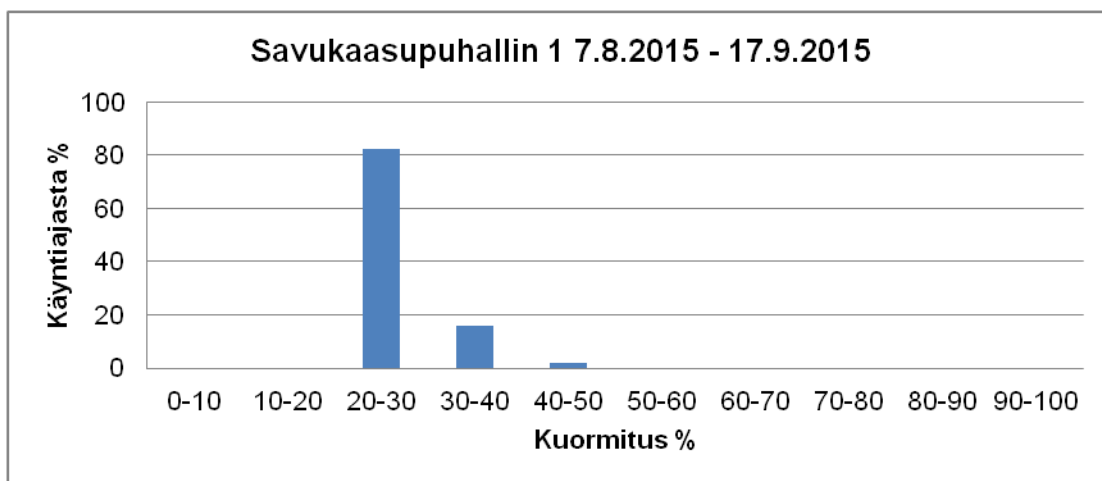
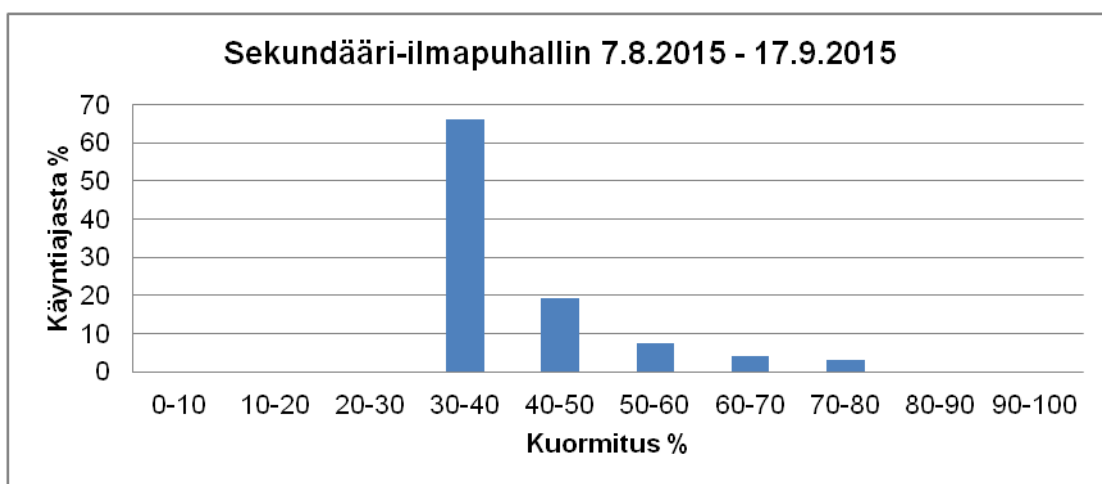
Soodakattila 6	Lämpötila [C]	Paine [MPa]	Entalpia [kJ/kg]
Korkeapainehöyry nuohoukseen	356	8,8	2984,6
Nuohoushöyry	250	3,9	2806

Hinnat	
Kuori [e/MWh]	14
Matalapainehöyry [e/MWh]	19,8
Lisävesi [e/m <sup>3</sup> ]	2,3

Kattilan hyötysuhde kuorella [%]	84,6
----------------------------------	------

## Kuormituksen jakautuminen kohteissa käyntiaikana





## Siemens-moottorin tiedot.

DREHSTROM-ASYNCHRONMOTOR MIT KAEFIGLAEUFER									
THREE-PHASE-INDUCTIONMOTOR WITH SQUIRREL CAGE ROTOR									
NENNDATEN :									
RATED DATA :									
NENNLEISTUNG		950		KW		NENNSPANNUNG		10.5 KV	
RATED POWER						RATED VOLTAGE			
LEISTUNGSFAKTOR		0.87				NENNSTROM		62 A	
POWER FACTOR						RATED CURRENT			
NENNDRZHAHL		1490		1/MIN		FREQUENZ		50 HZ	
RATED SPEED						FREQUENCY			
NENNMOMENT		6088		NM		MOMENTENKLASSE		KL4	
RATED TORQUE						TORQUE CLASS			
ISOLIERSTOFFKLASSE		F							
INSULATION CLASS									
WIRK.GR.O.TOL./EFFICIENCY WITHOUT TOL.:		96.6%		96.6%		96.2%			
LAST / LOAD		4/4		3/4		2/4			
BERECHNETE ANLAUFDATEN : BEI U = UN									
CALCULATED START UP DATA: AT RATED VOLTAGE									
MA / MN		0.75							
LOCKED ROTOR TORQUE RATIO									
MS / MN		0.63							
PULL-UP TORQUE RATIO									
MK / MN		2.10							
BREAK DOWN TORQUE RATIO									
IA / IN		5.50							
LOCKED ROTOR CURRENT RATIO									
BERECHNETE LEISTUNGSFAKTOREN UND WIRKUNGSGRAD BEI UN:									
CALCULATED POWER FACTORS AND EFFICIENCIES AT RATED VOLTAGE:									
LAST		LEISTUNGSFAKTOR				WIRKUNGSGRAD			
LOAD		POWER FACTOR				EFFICIENCY			
5/4		0.87				96.7 %			
4/4		0.87				96.9 %			
3/4		0.85				96.9 %			
2/4		0.80				96.5 %			
TOLERANZEN NACH/TOLERANCES ACC. TO VDE 0530									
BA42027									
DAT. 910201		W-NR/W-NO : 55748/4/91							
INA. KL									
ELEKTRISCHES DATENBLATT									
ELECTRICAL DATA SHEET									
ZU MITTEILUNG DATUM INA. SIEMENS AG		TYP/TYPER : 1LA1 504-4KF90-2		IBL.		PAGE			
F-NR/S-NO : 091090...091									

## Kuorensiirtolaitteiston vuosikulutuksen laskenta

[illegible]

Kuorensiirtolaitteiden tarkastusmittaus.

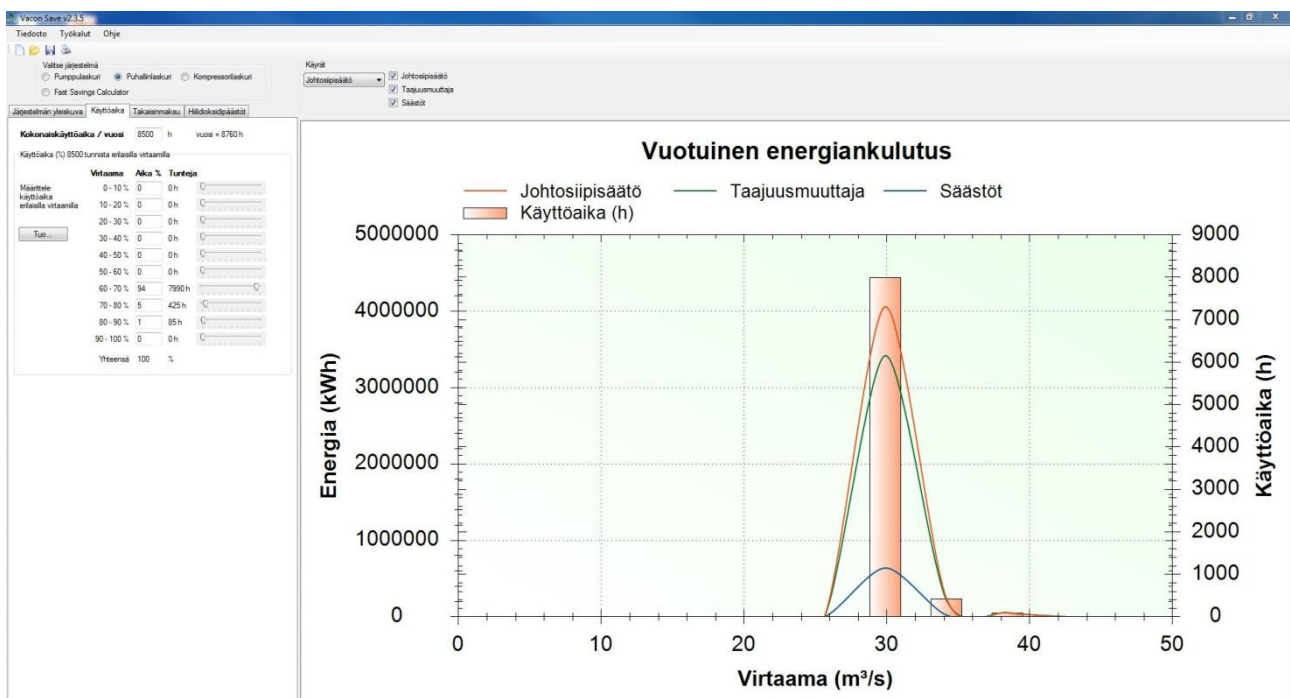
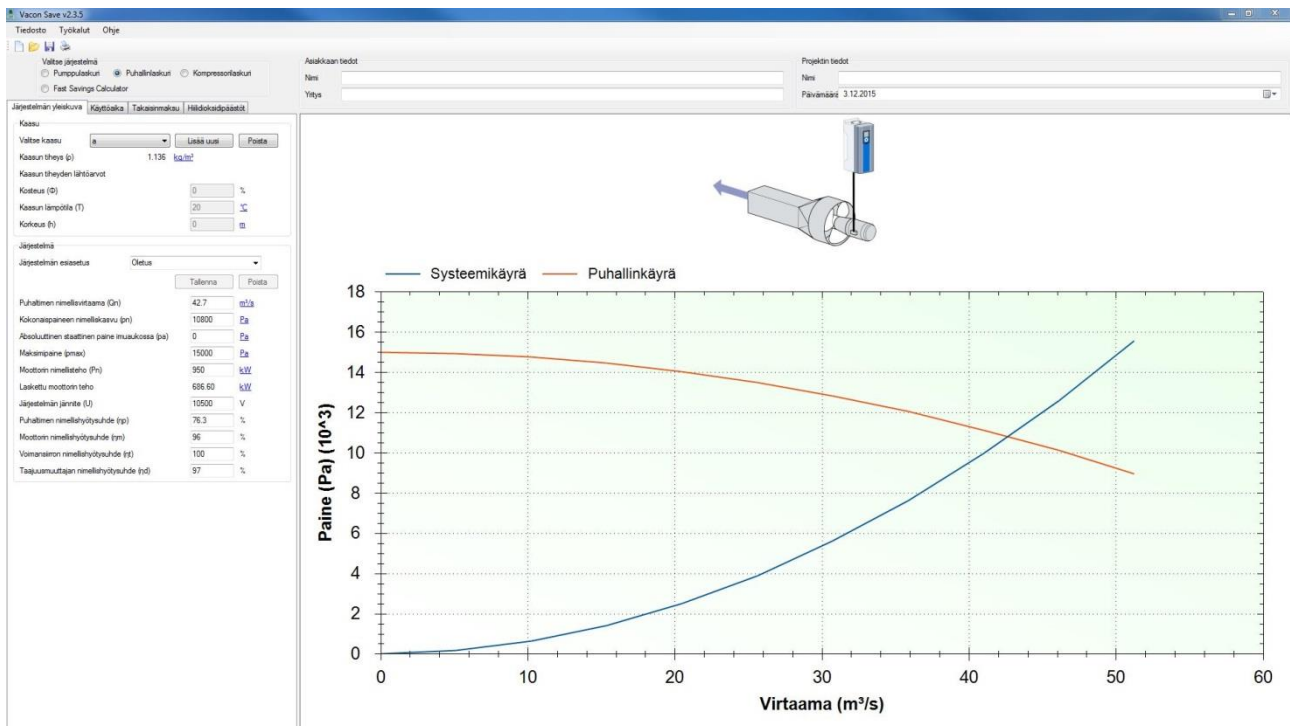
Laitte	Jännite U (V)	Nimellisvirta I (A)	Teho P (kW)	Nimellistehokerroin cos φ	Kuormitus mittaushetkellä (%) IMPI	Virrat mittaushetkellä (A) laskettu	Mitattu virta (A)	Moottori
Hihnakuuljetin 1	400	23	11	0,81	57,0	13,1	8,7	ABB
Hihnakuuljetin 2	400	58	30	0,82	46,0	26,7	18,0	ABB
Jakokuuljetin	400	11,5	5,5	0,83	42,0	4,8	4,4	ABB
Sillon purkain 1	690	118	110	0,87	33,0	38,9	42,0	ABB
Sillon purkain 2	690	117	110	0,84	35,4	41,4	34,0	ABB
Kolakuuljetin 1	400	28,5	15	0,84	48,0	13,7	12,4	ABB
Kolakuuljetin 2	400	30	15	0,83	47,0	14,1	12,0	ABB
Syöttöruuvi 1	400	19,5	7,5	0,68	54,0	10,5	14,3	ABB
Syöttöruuvi 2	400	19,5	7,5	0,68	43,0	8,4	11,3	ABB
Syöttöruuvi 4	400	19,5	7,5	0,68	41,0	8,0	11,2	ABB
Syöttöruuvi 5	400	18,1	7,5	0,68	40,0	7,2	10,7	ABB
Sulkusydän 1	690	17,3	15	0,83	49,0	8,5	8,2	ABB
Sulkusydän 2	690	17,3	15	0,83	49,0	8,5	8,1	ABB
Sulkusydän 3	690	18	15	0,84	44,0	7,9	7,5	ABB
Sulkusydän 4	690	16,5	15	0,83	38,0	6,3	6,6	ABB
Sulkusydän 5	690	17,3	15	0,86	53,0	9,2	9,1	ABB
Sulkusydän 6	690	17,9	15	0,86	52,0	9,3	9,1	ABB
Syöttöilmapuhallin 1	690	32	30	0,91	49,0	15,7	17,2	ABB
Syöttöilmapuhallin 2	690	32	30	0,91	49,0	15,7	17,0	ABB

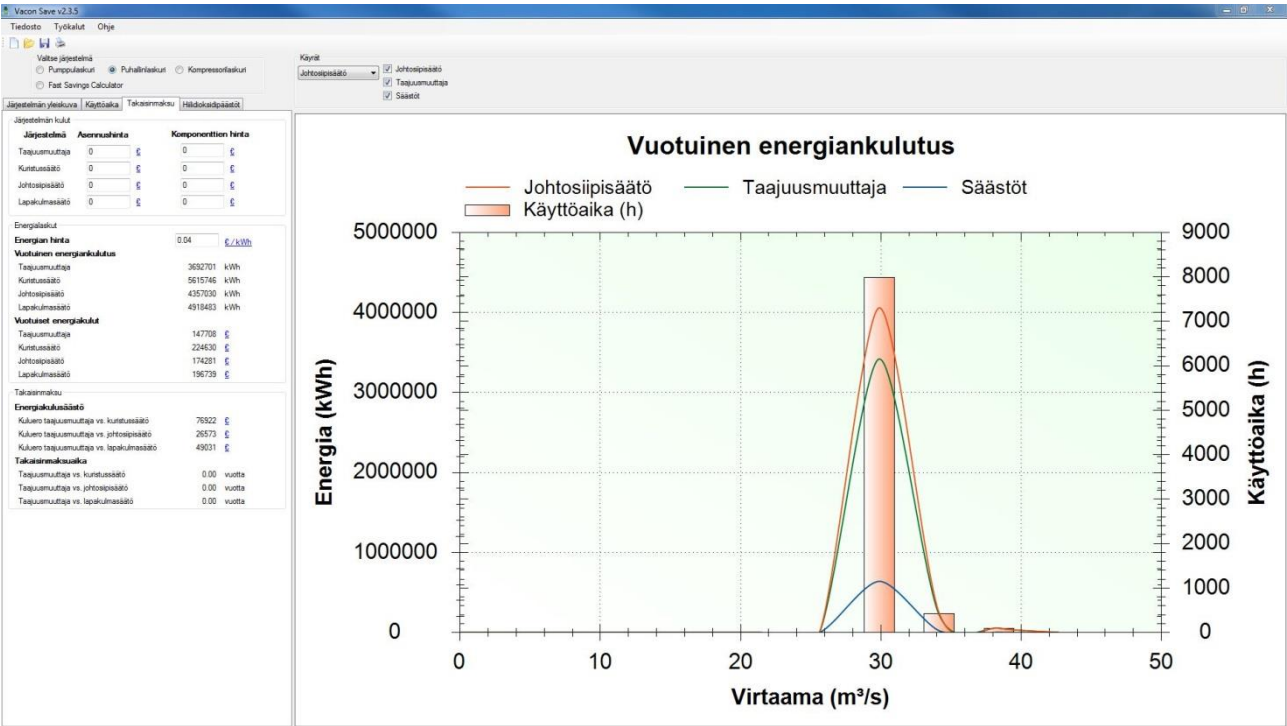
Suurien kulutuskohteiden tarkastusmittaus.

Laitte	Jännite / V	Nimellisvirta/A	Teho/kW	Tehokerroin	DNA %	DNA/A	Paik.mitt. A	mitattuA	rele/%	rele/A	Moottori
KK2 SYÖTTÖVESIPUMPPU 1	10500	118	1800	0,87							Siemens
KK2 SYÖTTÖVESIPUMPPU 2	10500	118	1800	0,87	50	59	70		0,6	70,8	Siemens
KK2 LEIJUILMAPUHALLIN	10500	62	950	0,87	60	37,2	35		0,4	24,8	Siemens
KK2 SAVUKAASUPUHALLIN 1	10500	62	950	0,87	30	18,6	20		0,3	18,6	Siemens
KK2 SAVUKAASUPUHALLIN 2	10500	62	950	0,87	30	18,6	20		0,3	18,6	Siemens
TU7 RUISKUTUSVESIPUMPPU 1	690	295	315	0,92	36	106,2		110			ABB
KK2 SEKUNDÄÄRI-ILMAPUHALLIN	690	650	630	0,89	50	325		310	0,4	260	ABB



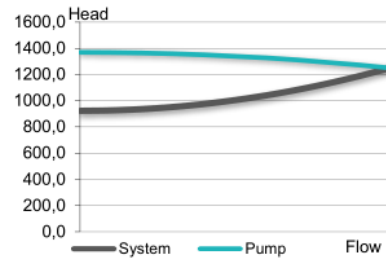
## Vacon Save-ohjelma leijuilmapuhallin





**PumpSave 5.3** Energiansäästölaskuri pumpuille**Pumppu**

Tilavuusvirta	393,8	m <sup>3</sup> /h
Nostokorkeus	1250	m
Maksimi nostokorkeus	1370	m
Hyötysuhde	88	%
Nesteen tiheys	951	kg/m <sup>3</sup>
Stattinen nostokorkeus	923	m
Nykyinen säätömenetelmä	Jättämäsäätö	

**Käyttö ja moottori**

Syöttöjännite	690 V
Moottorin teho	1 594,6 kW
Moottorin teho	1800 kW
Moottorin hyötysuhde	96 %
Säätö AC käytöllä	ACS880

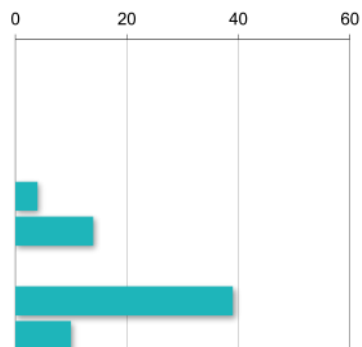
ACS880-07-2300A-7

**Virtausprofiili**

Vuotuiset käyttötunnit 8500 h

**Virtaama**

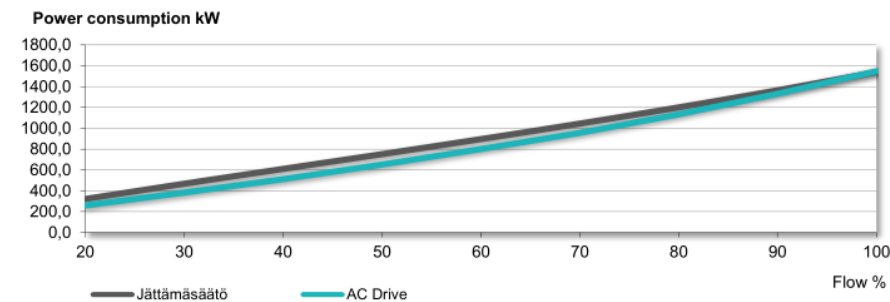
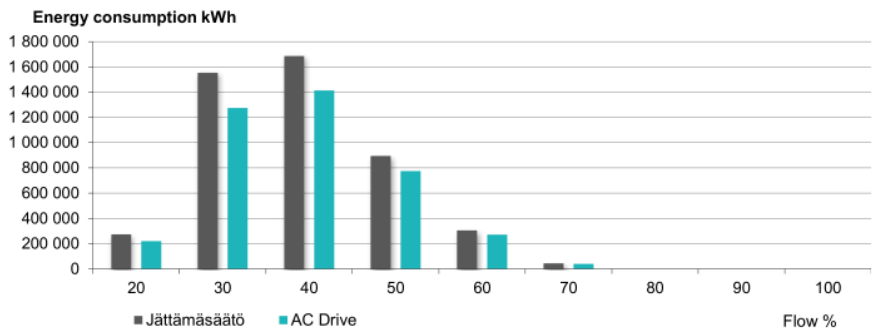
100 %:	0	% =	0	h
90 %:	0	% =	0	h
80 %:	0	% =	0	h
70 %:	0,5	% =	42,5	h
60 %:	4	% =	340	h
50 %:	14	% =	1190	h
40 %:	32,5	% =	2762,5	h
30 %:	39	% =	3315	h
20 %:	10	% =	850	h
Sum	100	%	8500	h

**Investoinnin tiedot**

Valuutta	€
Energian hinta	0,04 €/kWh
Investointikustannus	7000 €
CO2 päästö	0.5 kg/kWh

Energiansäästö

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>761</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus</b>		
nyky menetelmällä	<b>4 758</b>	MWh
parannetulla menetelmällä	<b>3 997</b>	MWh
Säästö prosentteina	<b>16,0</b>	%



Investoinnin tiedot

<b>Vuosittainen säästö</b>	<b>30 454</b>	<b>€</b>
Takaisinmaksuaika	<b>0,2</b>	vuotta
CO2 alenema	<b>0</b>	t/vuosi

Ref: any reference text

## ABB PumpSave 5.3 ruiskutusvesipumppu

### PumpSave 5.3 Energiansäästölaskuri pumpuille

Finnish

ABB

**Pumppu**

Tilavuusvirta	208,3	m <sup>3</sup> /h
Nostokorkeus	350	m
Maksimi nostokorkeus	490	m
Hyötysuhde	88	%
Nesteen tiheys	951	kg/m <sup>3</sup>
Stattinen nostokorkeus	76	m
Nykyinen säätoimenetelmä	Jättämäsäätö	

**Käyttö ja moottori**

Syöttöjännite	690 V
Moottorin teho	236,2 kW
Moottorin teho	315 kW
Moottorin hyötysuhde	97 %
Säätö AC käytöllä	ACS800

ACS800-02-0320-7

**Virtausprofiili**

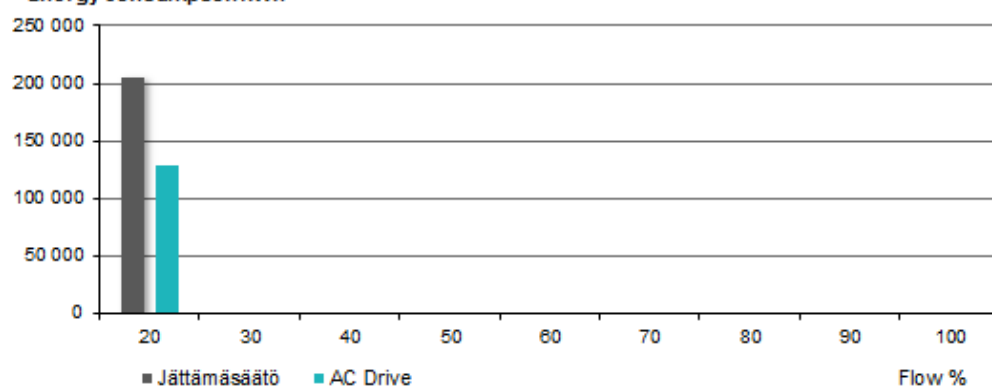
Vuotuiset käyttötunnit 8500 h

Virtaama	Oletus	
100 %:	0	% = 0 h
90 %:	0	% = 0 h
80 %:	0	% = 0 h
70 %:	0	% = 0 h
60 %:	0	% = 0 h
50 %:	0	% = 0 h
40 %:	0	% = 0 h
30 %:	0	% = 0 h
20 %:	100	% = 8500 h
Sum	100	% = 8500 h

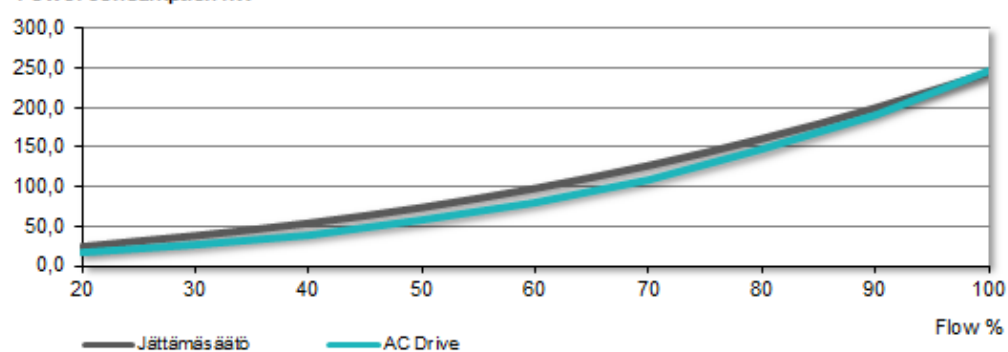
## Energiansäästö

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>76</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus</b>		
nyky menetelmällä	<b>206</b>	MWh
parannetulla menetelmällä	<b>129</b>	MWh
Säästö prosentteina	<b>37,1</b>	%

Energy consumption kWh



Power consumption kW



## Investoinnin tiedot

Vuosittainen säästö	<b>3 037</b>	€
Takaisinmaksuaika	<b>0.0</b>	vuotta
CO2 alenema	<b>0</b>	t/vuosi